

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра технічної кібернетики

«На правах рукопису»
УДК 004.042

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ І.Р. Пархомей
(підпис)

“ _____ ” _____ 2019
р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»

на тему: Оптимізація режимів технологічних операцій роботів
вертикального переміщення

Виконав: студент другого курсу, групи ІК-71мн
(шифр групи)

_____ Писаренко Степан Георгійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н., доцент Поліщук М.М. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант _____ (назва розділу) _____ (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____ (посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

Пояснювальна записка
до магістерської дисертації

на тему: Оптимізація режимів технологічних операцій роботів
вертикального переміщення

Київ – 2019 року

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. ОПИС ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	11
1.1 Поняття мобільного робота	11
1.2 Типи конструкцій роботів.....	13
1.3 Типи конструкцій роботів вертикального переміщення	15
1.4. Постановка задачі.....	18
Висновки до розділу	18
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ МОДЕЛІ РУХУ КРОКУЮЧОГО РОБОТА.....	20
2.1 Показники якості	20
2.2 Багатокритеріальна оптимізація.....	27
2.3 Теоретико-механічна модель руху.....	32
Висновки до розділу	42
РОЗДІЛ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ ТА ЗАКОНІВ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ	43
3.1 Багатокритеріальна оптимізація режимів технологічних операцій ...	43
3.2 Оптимізація структури циклових рушіїв на основі введення механізму-коректора.....	51
3.3 Оптимізація структури робота з парними крокуючими рушіями	55
Висновки до розділу	65
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	66
4.1. Аналіз вимог до програмного продукту.....	66
4.2. Розробка алгоритму та вибір середовища.....	66
4.3. Опис програмного продукту.....	67
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	68
5.1. Опис ідеї проекту	68
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту	70
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту.....	71
5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту	81
ВИСНОВКИ.....	88
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	90
ДОДАТКИ.....	93

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ОС – операційна система

ПР – промисловий робот

РВП – робот вертикального переміщення

САПР – система автоматизованого проектування

СП – система приводів

ВСТУП

В сучасній промисловості та господарстві активно застосовуються різноманітні промислові роботи для автоматизації та підвищення якості і відтворюваності повторюваних операцій та процесів. Розвиток технологій дає можливість створення мобільних роботів, які здатні виконувати операції, що не доступні для виконання людині через підвищений рівень небезпеки або ж в умовах, де людський організм має обмежену продуктивність та здатність до виконання певних видів роботи.

Одним з прикладів є робот вертикального переміщення, який здатний рухатись по негоризонтальних поверхнях, а й виконувати такі технологічні операції, як, наприклад, свердління або шліфування, переміщення об'єктів, зберігаючи задане положення на цій поверхні. Тому однією з найбільш універсальних конструкцій з точки зору адаптації до поверхні переміщення є крокуючий робот.

Метою даної роботи є пошук шляхів оптимізації параметрів роботи, що здатний рухатись по поверхні з довільним кутом нахилу.

Актуальність роботи полягає в тому, що оптимізація режимів роботи таких роботів дає можливість покращити їх технічні характеристики, а отже і підвищити ефективність роботи, що веде за собою можливість виконання принципово нових операцій та здешевлення однієї операції. Саме це і є загальною тенденцією в даній галузі роботи будівництва, що наочно демонструє компанія Boston Dynamics своїми останніми розробками крокуючих та людиноподібних роботів, які здатні виконувати прості операції переміщення об'єктів а також долати різноманітні перешкоди а нерівності на поверхні переміщення.

Задача вдосконалення роботів вертикального переміщення розглядалась в роботах таких дослідників як Поліщук М. Н. [32-35], В.Г. Фокін та С.В. Шанигін [2], Андрієнко В.О., Бондаренко М.О. [3].

РОЗДІЛ 1. ОПИС ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Поняття мобільного робота

Робот – це механізм здатний виконувати завдання в неструктурованих середовищах без постійного людського управління. Повністю автономний робот має такі властивості:

- отримання даних про середовище роботи;
- робота протягом тривалого часу без втручання оператора;
- включати в себе блоки маніпуляторів, шасі та інших пристроїв для взаємодії з середовищем.

Самі автономні роботи в процесі експлуатації можуть придбати або отримати нові можливості, такі як нові алгоритми досягнення своїх завдань або алгоритми адаптації до мінливої обстановки, за допомогою перепрограмування мікросхем безпосередньо на платі. Самі автономні роботи як і раніше вимагають регулярного технічного обслуговування нарівні з іншими машинами.

Структурна схема взаємодії робота та зовнішнього представлена на рис. 1.1. Робот в загальному випадку складається з наступних систем:

- інформаційно-вимірювальної (сенсорної) системи;
- керуючої системи;
- системи зв'язку з оператором та/або іншими керуючими системами;
- виконавчої системи.

Інформаційно-вимірювальна система – система датчиків, що зчитують дані про зовнішнє середовище. Як елементи сенсорної системи робота зазвичай використовуються відеокамери, ультразвукові сенсори, радары, тактильні та контактні датчики, датчики положення, тахометри, акселерометри і т. п.

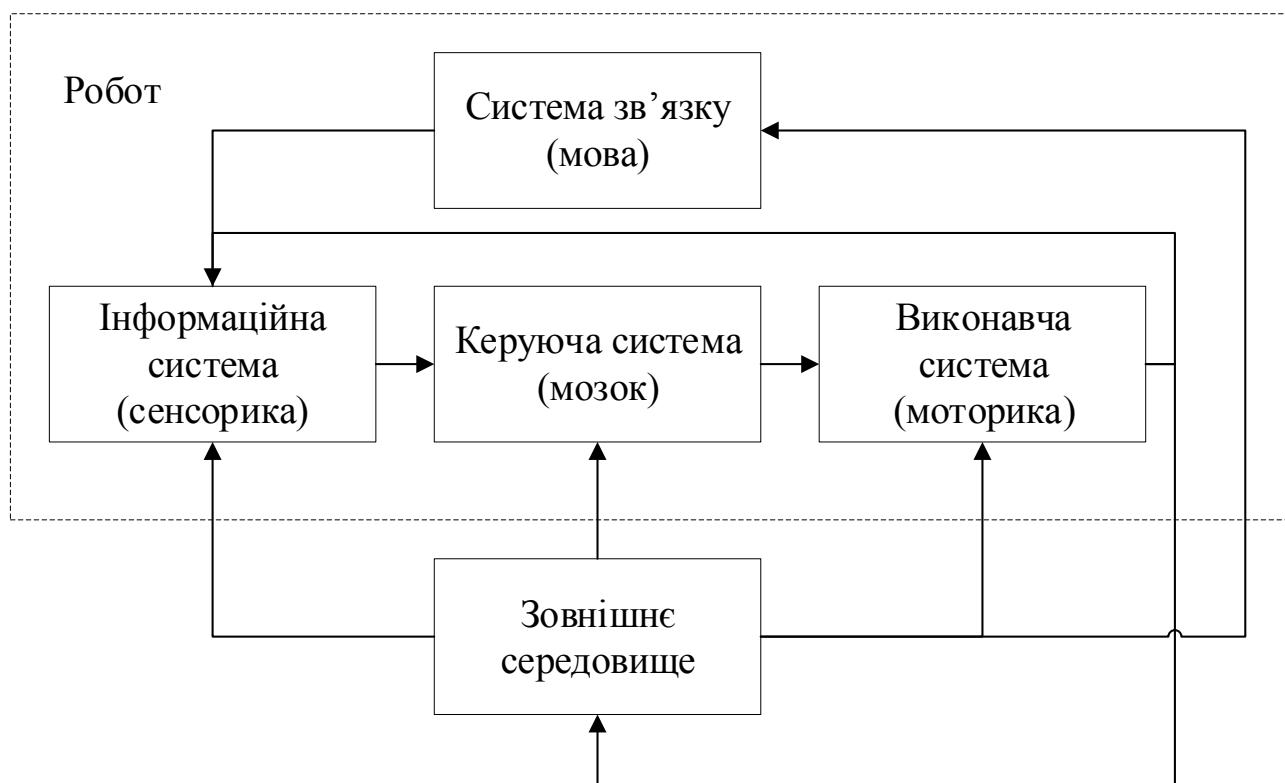


Рисунок 1.1. Структурно-функціональна схема робота

Керуюча система відповідає за аналіз сигналів зворотного зв'язку від сенсорної системи, сигналів керування від оператора (або автоматизованої системи керування з елементами штучного інтелекту) та передачу управляючих сигналів на виконавчу систему робота.

Система зв'язку робота служить для забезпечення обміну даними та отримання команд.

Виконавча система, забезпечує можливість виконувати рухи, оброблюючи управляючі сигнали з метою зміни положення та конфігурації вузлів та агрегатів робота.

В даний час існує чимало проектів з дослідження крокуючих роботів, в тому числі і роботів вертикального переміщення, що свідчить про високий інтерес до таких технологій та потенційну зацікавленість користувачів.

1.2 Типи конструкцій роботів

Мобільні роботи застосовуються в промисловості і сферах не доступних або небезпечних для людини, наприклад, під водою, а також в умовах високої температури і радіації. Одним з відносно нових напрямків є створення технологічних роботів вертикального переміщення (ТРВП). Ці роботи доступні для робіт в найнебезпечніших і шкідливих для оператора середовищах.

Екстремальні умови і середовища можуть відрізнятися підвищеною радіоактивністю, високими температурами, загазованістю і т. п. Наприклад, необхідно виконувати дезактивацію приміщення, включаючи стіни і стелі, виробляти профілактичні та ремонтні роботи на атомних електростанціях, виробляти протипожежні роботи, здійснювати будівельно-монтажні, фарбувальні роботи на висоті при будівництві різних будівель і споруд та багато іншого.

Істотних результатів з промисловим застосуванням роботів вертикального переміщення досягли такі фірми, як «Tokyo Gaze Limited», «Hitachi» (Японія), «International robotic technology» (США), Портсмутський університет та інші.

Японською фірмою «Hitachi» спільно з лабораторією механіки наукового центру в м Цукуба розроблені два варіанти ТРВП:

- робот з електромагнітними захватами для феромагнітних матеріалів;
- робот з пристроями фіксації вакуумного типу для руху по неметалевих і металевих поверхнях, призначений для контрольно-вимірювальних і інспекційних операцій.

Японською фірмою «Tokyo Gaze Limited» спільно з фірмою «Hitachi» розроблений діагностичний робот для технічної діагностики методом ультразвукової дефектоскопії зварних швів сферичних газових резервуарів.



Рисунок 1.2. Робот для технічної діагностики методом ультразвукової дефектоскопії зварних швів сферичних газових резервуарів

Даний ТРВП має автономне управління і наступні параметри: власна вага 140 кг; вантажопідйомність до 60 кг; діаметр 1800 мм; висота 650 мм; кількість захоплень на кожній з платформ дорівнює восьми.

Англійською фірмою «Security» розроблений ТРВП з керованими магнітними захопленнями, призначеними для чищення корпусів суден і їх забарвлення. [1]



Рисунок 1.3. ТРВП з керованими магнітними захопленнями

Створення таких комплексів пов'язане з виконанням фундаментальних досліджень в області механіки і машинобудування, з необхідністю розробки механічної конструкції, систем управління і приводних систем, методів

динамічного управління рухом з урахуванням статичних і змінних зовнішніх впливів, які виникають внаслідок зміни орієнтації корпусу ТРВП або роботи технологічного обладнання встановленого на борту.

1.3 Типи конструкцій роботів вертикального переміщення

Всі системи приводів (СП) РВП можна класифікувати за принципом фіксації на поверхні переміщення, за функціональними можливостями, з погляду технологічного об'єкта, що обслуговується і по виду руху наступним чином:

1. За принципом фіксації на поверхні переміщення:

- вакуумні: ежекторні, з вакуумним насосом, вентиляторні;
- магнітні: електромагнітні, з постійними магнітами;
- реактивні;
- механічні: на терті, на проміжному фіксуючому середовищі.

2. За функціональними можливостями:

- універсальні;
- спеціалізовані.

3. По виду технологічного об'єкта, що обслуговується:

- для плоских поверхонь;
- для вигнутих поверхонь;
- для труб;
- для переходу з однієї поверхні на іншу.

4. По виду руху:

- поздовжньо-крокові;
- колісно-гусеничні;
- циркульні.

Деякі схеми РВП різних типів представлені на рисунку.

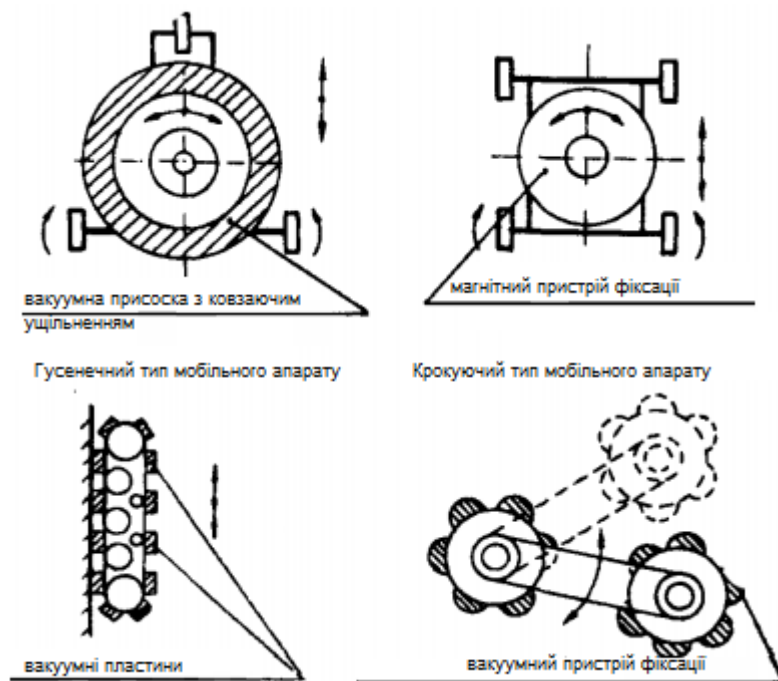


Рисунок 1.4. Колісний тип мобільного апарату



Рисунок 1.5. Крокуючий тип мобільного апарату

За принципом фіксації на поверхні переміщення найбільш універсальними і компактними системами є вакуумні ежекторні системи, які і отримують на практиці найбільшого поширення.

Магнітні системи можуть використовуватися тільки для феромагнітних поверхонь і чутливі до ступеня їх забруднення.

Універсальні системи забезпечують виконання широкого кола технологічних операцій завдяки можливості реалізації будь-якої бажаної траєкторії руху робота.

Таблиця 1.1. Загальна схема і алгоритм руху

Тип транспортної механічної системи	Двохплатформенна		Гусенична	З ковзним ущільненням	Багатоланкова		Багатонога	
Вид захватного пристрою	вакуумний	магнітний	вакуумний	вакуумний	вакуумний	магнітний	вакуумний	магнітний
Потужність приводів	1,5 кВт	2,5 кВт	1,8 кВт	0,3 кВт	1,0 кВт	2,7 кВт	1,8 кВт	2,0 кВт
Навантажувальний коефіцієнт	2,5	0,8	1,3	2,0	1,0			0,8 0,6
Максимальне корисне навантаження	120	20	30	20	10		10	10
Можливість автономного управління	середня	відсутня	середня	хороша	можлива	відсутня	середня	середня
Вібраційні можливості	0,1 Гц-20 Гц			0,5 Гц-30 Гц				
Прискорення	0,3 м/с ² -10 м/с ²			0,2 м/с ² -5 м/с ²				

Спеціалізовані системи реалізують заданий вид траєкторій для виконання специфічних технологічних операцій. До них, зокрема, відносяться скануючі системи.

У колісному типі мобільного робота використовується вакуумна присоска зі змінним ущільненням, виконаним по периферії вакуумної камери, або магнітний пристрій фіксації до поверхні.

У гусеничному і крокуючому типах РВП пристрої фіксації виконані або у вигляді вакуумних пластин (гусеничний тип), або в кінцевій ланці приводу ноги (крокуючий тип).

Загальна схема і алгоритм руху роботів представлені в таблиці 1.1.

Як випливає з таблиці, перевага віддається РВП з вакуумними захватними пристроями за сукупністю параметрів (потужності приводних систем, навантажувального коефіцієнта, можливості автономного управління). [2]

Максимальним корисним навантаженням володіють роботи двоплатформенного типу з вакуумними захватними пристроями. РВП з вакуумними присосками в певному діапазоні частот добре протистоять вібраційним навантаженням при порівняно невеликих амплітудах вібрацій.

1.4. Постановка задачі

Крокуючі машини в порівнянні з традиційними колісними і гусеничними машинами мають ряд переваг перед традиційними транспортними засобами під час руху по поверхні зі складним рельєфом, такими як пересічна місцевість, завали, а також всередині будівель і споруд, де необхідно переміщатися по сходах і вузьким коридорах і шахтах [1].

Крокуючі роботи мають ряд переваг на відміну від колісних і гусеничних роботів на різних поверхнях.

Переваги на нерівних поверхнях полягають в наступному:

- менше споживання енергії, економія палива;
- більша швидкість на нерівній поверхні;
- найкраща прохідність;
- поліпшена ізоляція від нерівностей поверхні;
- менші пошкодження поверхні.

Основною задачею даної роботи є проведення оптимізації режимів технологічних операцій роботів вертикального переміщення з метою отримання нового способу покращення одного або декількох показників для підвищення ефективності його роботи.

Висновки до розділу

В розділі було описано предметну область та детально вивчено можливі типи конструкцій роботів вертикального переміщення а також

проведено аналіз існуючих систем проводів роботів вертикального переміщення. Базуючись на існуючому досвіді, поставлено мету щодо створення нового способу оптимізації режимів технологічних операцій робота для підвищення його ефективності.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ МОДЕЛІ РУХУ КРОКУЮЧОГО РОБОТА

2.1 Показники якості

Залежно від умов застосування і вирішуваних завдань до роботів вертикального переміщення пред'являються різні, часто суперечливі вимоги, для кількісної оцінки відповідності яким вводиться система механічних показників якості (рис. 2.1).

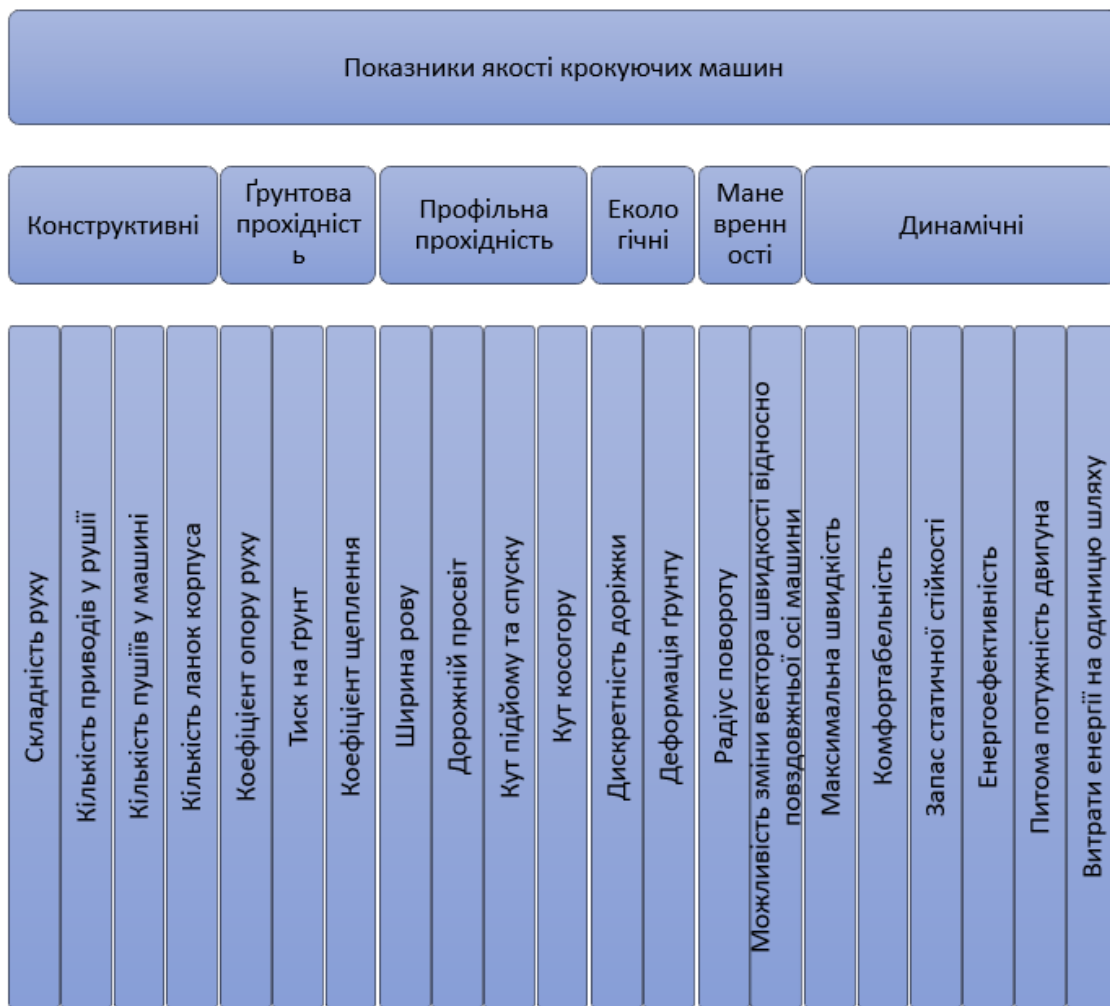


Рисунок 2.1. Схема класифікації показників якості крокуючих машин

Частина цих показників запозичені з теорії транспортних засобів (ТЗ) з традиційними рушіями, інші – специфічні для крокуючих машин [15]. У той же час, деякі механічні показники якості, характерні для колісних транспортних засобів, для крокуючих машин не актуальні. Наприклад, через

малу швидкість руху для крокуючих машин неактуальні показники, визначальні характеристики гальмування, втрати стійкості при повороті або подолання перешкод за рахунок інерційних властивостей транспортного засобу.

На відміну від інших конструкцій, майже всі показники крокуючого апарату залежать не тільки від особливостей конструкції машини, але і від алгоритмів управління приводами рушіїв. Отже, оцінка якості роботів вертикального переміщення нерозривно пов'язана з реалізованими алгоритмами руху.

Структурні показники якості характеризують складність конструкції машини як механічної системи і визначаються кількістю тіл, що входять до системи. У завданнях оптимізації при інших рівних умовах вважається більш вдалою та механічна система, яка складається з меншої кількості елементів.

Складність рушія визначається кількістю його ланок N_l , без урахування некерованих стоп. Складність системи управління визначається кількістю приводів або, що те ж саме, числом керованих ступенів рухливості в рушій N_d . Складність структурної схеми машини визначається кількістю рушіїв N_L . Через $\min(N_L)$ позначається кількість рушіїв, мінімально достатньо для реалізації тих же рухів корпусу, що і у машини з вихідною структурною схемою. Різниця $N_L - \min(N_L)$ визначає надмірність структурної схеми машини за кількістю рушіїв.

Кількість приводів або число керованих ступенів рухливості в рушій N_d характеризує складність системи управління. Чим більше приводів вимагають узгодженого управління, тим важче забезпечити точне виконання програмних рухів машини. З іншого боку, доступні рухи при збільшенні числа керованих ступенів рухливості в рушії стають більш різноманітними, дозволяючи поліпшити механічні характеристики машини.

Кількість рушіїв в машині N_L пов'язано з використовуваним типом рушіїв і з вимогами стійкості і прохідності машини.

В порівнянні з колісними і гусеничними транспортними засобами, для крокуючих машин напрямок швидкості центру корпусу зазвичай не обмежується напрямками, близькими до поздовжньої осі машини, що дозволяє машині здійснювати лінійні і кутові переміщення незалежно один від одного.

Тому мінімального радіуса повороту недостатньо для оцінки маневреності крокуючих машин, і потрібне введення ще одного показника маневреності, в якості якого запропонований діапазон зміни кута між вектором швидкості центру корпусу і поздовжньою віссю машини. Вводиться поняття ідеальної маневреності, яка визначає здатність корпусу машини здійснювати довільний плоско-паралельний рух в плані місцевості.

При такому розумінні, маневреність характеризується двома показниками:

мінімальним радіусом кривизни траєкторії характерної точки корпусу (зазвичай умовного геометричного центру або центру мас) R_{min} і максимально допустимим кутом γ між поздовжньою віссю корпусу і вектором швидкості V характерної точки. Для випадку ідеальної маневреності вказаний кут повинен приймати довільні значення в межах $\pm 180^\circ$.

Мінімальний радіус повороту R_{min} визначається як мінімально можлива відстань від миттєвого центру швидкостей (МЦШ) до однієї з характерних точок корпусу машини і, в разі кінематично точного руху без прослизання, залежить від максимального кута повороту θ_{max} поворотних коліс. У якості характерної точки в залежності від розв'язуваної задачі зазвичай вибирається центр осі поворотних коліс. Наприклад, для кінематично точного повороту автомобіля мінімальний радіус повороту по центру осі поворотних коліс (рисунок 2.2) визначається виразом

$$R_{min} = \sqrt{\frac{L^2}{\tan^2(\theta_{max})} + \frac{LB}{\tan(\theta_{max})} + \frac{B^2}{4} + L^2} \quad (2.1)$$

де L та B – повздовжня та поперечна бази машини.

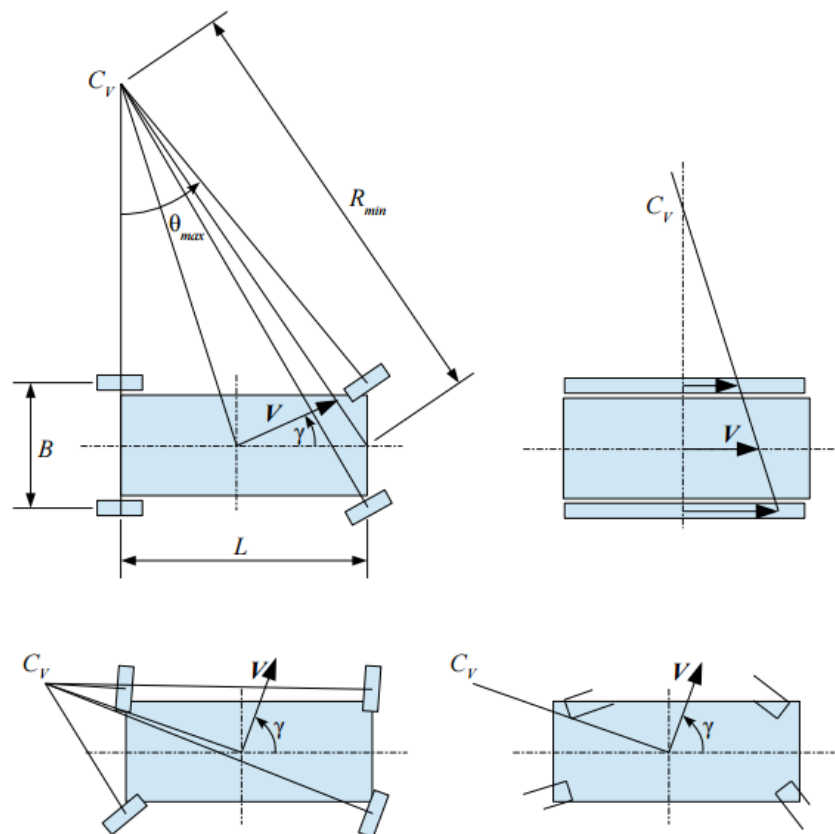


Рисунок 2.2. Схеми повороту: а) автомобіля, б) гусеничної машини, в) колісної машини з довільною орієнтацією коліс, г) крокуючої машини. C_v – миттєвий центр швидкостей корпусу, V – швидкість центру корпусу

Для гусеничних машин характерний, так званий, бортовий поворот, коли рушій одного борту машини частково або повністю загальмовується або коли рушій одного борту рухається в одну сторону, а рушій іншого борта – в іншу. При цьому спостерігається значне ковзання рушіїв по ґрунту. Хоча радіус повороту в цьому випадку може приймати будь-які значення аж до нуля, довільного руху корпусу машини все-одно добитися не вдається, так як кут $\gamma = 0$ для точки корпусу, лежить на поздовжній осі і найближчій до МЦШ (якщо сама ця точка не збігається з МЦШ).

Однак можливість здійснювати довільний рух корпусу характерний для більшості крокуючих машин, будучи свого роду «побічним ефектом» при використанні крокуючих рушіїв з досить великим числом ступенів свободи. При цьому кути повороту крокуючих рушіїв щодо корпусу і один одного

можуть бути довільними (рисунк 2.2.г), МЦШ корпусу може займати довільні положення, а напрямок вектора швидкості характерної точки корпусу і його кутова швидкість можуть змінюватися незалежно один від одного. Тобто, $R_{min} = 0$ і $-\pi \leq \gamma \leq \pi$, що відповідає поняттю ідеальної маневреності.

Особливість взаємодії крокуючого рушія з ґрунтом полягає в тому, що опір руху не є величиною постійною. Велика частина енергії на деформацію ґрунту витрачається на початку кроку, відразу після наступання ноги на ґрунт. Відомим підходом є усереднення цих енерговитрат на весь період кроку [28, 41].

Тиск стоп машини перпендикулярного переміщення на ґрунт також не залишається постійним в процесі руху: при перпендикулярному переміщенні взаємне розташування стоп і корпусу постійно змінюється, що призводить до перерозподілу навантажень, а в моменти постановки стоп на ґрунт спостерігаються ударні явища і коливальні процеси. Наприклад, на рис.2.3 показані дані щодо зміни нормального навантаження під стопами рушія.

В результаті чого навантаження на рушії і тиск стоп на ґрунт можуть змінюватися більш ніж в два рази в порівнянні зі статичними значеннями навіть при реалізації ходи, що забезпечує знаходження в опорі в кожний момент часу однієї і тієї ж кількості стоп. У разі, якщо в різні моменти часу в опорі знаходиться різна кількість стоп, навантаження змінюються в значно більших межах.

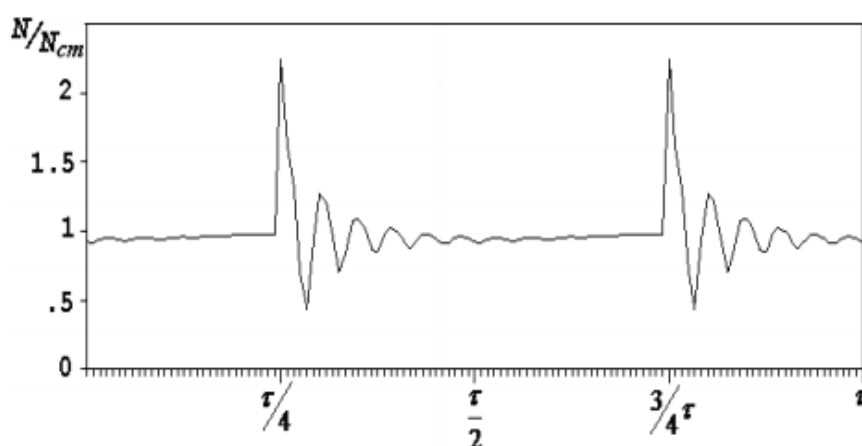


Рисунок 2.3. Зміна нормальної реакції при настанні стопи на ґрунт

З одного боку це призводить до необхідності враховувати зміну навантажень і тисків при проектуванні і управлінні машиною, а з іншого боку дозволяє ставити завдання синтезу таких законів руху, які забезпечать поліпшення експлуатаційних характеристик машини за рахунок використання описаних ефектів.

За рахунок зміни тиску стопи на ґрунт змінюються і умови їх зчеплення. Крім того, значного збільшення горизонтальної складової сили зчеплення можна домогтися при активному управлінні стопою. Для оцінки цих явищ вводиться ефективний коефіцієнт зчеплення, який визначається як відношення реалізованої сили зчеплення в горизонтальному напрямку до стаціонарного значення вертикального навантаження на стопу.

У зв'язку зі зміною вертикального навантаження ефективний коефіцієнт зчеплення визначається виразом:

$$f_{\text{еф}} = f \frac{N}{N_{\text{ст}}} \quad (2.2)$$

де f – «базовий» коефіцієнт зчеплення, N – реалізована нормальна реакція, $N_{\text{ст}}$ – стаціонарне значення нормальне реакції.

У зв'язку з перерозподілом навантаження в межах стопи вдається збільшити коефіцієнт зчеплення на величину приблизно рівну тангенсу кута повороту стопи відносно поверхні ґрунту, викликаного цим перерозподілом навантаження (рисунок 2.4) [24]:

$$f_{\text{еф}} \approx f + \operatorname{tg} \varphi \quad (2.3)$$

Для оцінки екологічних властивостей машини перпендикулярного переміщення вводиться показник дискретності слідової доріжки (рисунок

2.5), який визначається як відношення довжини слідів l машини до довжини кроку L

$$S_h = \frac{l}{L} \quad (2.4)$$

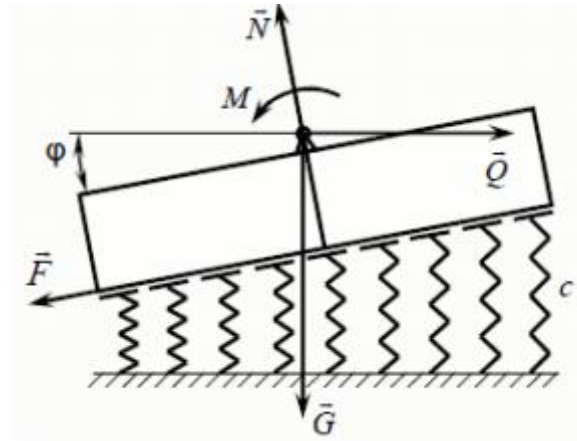


Рисунок 2.4. Схема взаємодії стопи з ґрунтом при прикладенні додаткового моменту сил: G – навантаження на стопу, Q – приведена до стопи сила опору руху, N – нормальна реакція ґрунту, F – сила зчеплення з ґрунтом, c – жорсткість ґрунту на одиницю довжини, M – прикладений до стопи момент сил, φ – кут повороту стопи

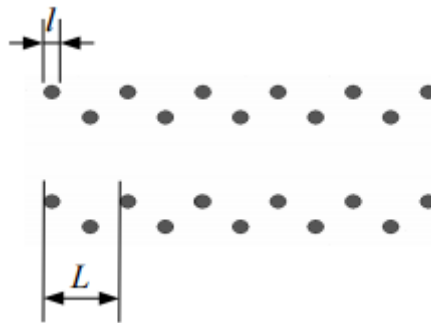


Рисунок 2.5. Доріжка слідів

Як і для більшості інших показників, дискретність слідової доріжки визначається не тільки конструкцією машини, але і реалізованою ходою.

Якщо машина залишає суцільну колію, то показник дискретності приймається рівним одиниці. Крім екологічних властивостей, цей показник

впливає також на прохідність, визначаючи розміри перешкод, які машина може переступити без наступання на них.

Ще одним показником екологічних властивостей машини є коефіцієнт деформації ґрунту, який визначається як добуток дискретності слідової доріжки на глибину слідів λ :

$$E_h = \lambda S_h \quad (2.5)$$

До показників профільної прохідності для машин з традиційними рушіями відносять: ширину подоланого рову, висоту сходинки, величину дорожнього просвіту, допустимі кути підйому і спуску машини, допустимий кут косогору і деякі інші. Залежно від конструкції машини яка крокує ці показники для неї можуть визначатися аналогічно традиційним транспортним засобам, а можуть вимагати більш складних методів визначення.

2.2 Багатокритеріальна оптимізація

Відомі методи комплексної оцінки різних видів продукції як правило ґрунтуються на техніко-економічних показниках, причому навіть технічні показники зазвичай розглядаються через призму економічної складової [3, 5, 7, 12, 16, 17, 21, 23]. Орієнтація на економічну ефективність є абсолютно виправданою для серійної продукції, що випускається. Однак такий підхід важко використовувати для галузі досліджень в якій зразки техніки виготовляються зазвичай в єдиному екземплярі. Оцінка якості в цьому випадку повинна будуватися виключно на технічних показниках. При цьому самі методи оцінки є досить універсальними і їх використання можливо для будь-якого набору показників.

Багатокритеріальна оптимізація параметрів, структури і законів управління рухом крокуючих роботів, з урахуванням функціонального

призначення машини, полягає в пошуку мінімуму загального критерію якості, який вводиться у вигляді лінійної зваженої комбінації приватних критеріїв або показників якості

$$I = \sum_j k_j H_j \rightarrow \min \quad (2.6)$$

де k_j - вагові коефіцієнти значущості відповідних показників, H_j - нормовані значення показників якості машини вертикального переміщення.

Замість мінімуму загального критерію може визначатися і його максимум.

Щоб перейти від пошуку мінімуму до пошуку максимуму або навпаки, досить поміняти знаки приватних показників H_j . Вибір з цих двох варіантів визначається, головним чином, зручністю представлення результатів.

Показники якості H_j , як правило, є лінійними функціоналом від тих чи інших функцій f_j , що визначаються механічним станом робота вертикального переміщення.

$$H_j = H_j(f_j) \quad (2.7)$$

де H_j - лінійний оператор, що задає відображення з простору функцій на безліч дійсних чисел, наприклад: інтеграл від функції f_j за часом.

У деяких випадках на механічну систему, що оптимізується можуть накладатися додаткові умови, наприклад, умова узгодженості руху корпусу і ніг крокуючого апарату. Зазвичай такі умови також є лінійними функціоналом від функцій механічного стану системи.

Функції f_j можуть бути довільними функціями узагальнених координат механічної системи і їх похідних. Наприклад, критерій теплових втрат в двигуні є інтеграл за період руху τ від квадрата моменту сил M , що розвивається двигуном

$$H_M = \int_0^\tau f_M dt = \int_0^\tau n_M M^2 dt \quad (2.8)$$

де n_M - нормуючий коефіцієнт.

Момент сил, що розвивається двигуном, в свою чергу визначається з диференціальних рівнянь тієї чи іншої теоретико-механічної моделі. В найпростішому випадку для одноступеневого механізму диференціальне рівняння руху має вигляд

$$J\ddot{\varphi} + \frac{1}{2} \frac{\partial J}{\partial \varphi} \dot{\varphi}^2 = M - M_c \quad (2.9)$$

де J - приведений момент інерції, φ - узагальнена координата механізму, M_c - момент сил опору. Звідки момент M визначається як функція першої і другої похідної від узагальненої координати.

У загальному випадку оператори H_j є різними, проте клас задач, в яких вираз (2.6) містить тільки функціонали, які визначаються тим самим лінійним оператором H (наприклад, інтегралом з одними і тими ж межами інтегрування), досить великий. Тоді узагальнений критерій якості записується у вигляді

$$I = H(\Phi) \rightarrow \min \quad (2.10)$$

де

$$\Phi = \sum_j k_j f_j \quad (2.11)$$

є функцією механічного стану робота вертикального переміщення, що залежить також від вагових коефіцієнтів k_j і дозволяє при їх зміні управляти якістю крокуючого апарату.

Метою багатокритеріальної оптимізації є пошук Парето оптимальних рішень по приватним критеріям H_j і вибір дослідником одного з цих рішень на основі аналізу відповідних значень критеріїв H_j .

Якщо для заданих значень вагових коефіцієнтів k_j вдається знайти мінімум або максимум загального критерію якості (2.6), то знайдене рішення є Парето-оптимальним щодо приватних критеріїв H_j .

Для кожного набору вагових коефіцієнтів k_j може бути знайдено найкраще (максимальне або мінімальне) значення узагальненого критерію I , яке відповідає одному з можливих Парето оптимальних рішень по приватним критеріям H_j . При цьому, самі по собі значення вагових коефіцієнтів k_j не важливі, а вибір з можливих програмних законів руху робота виробляється на підставі значень приватних критеріїв H_j за наступним алгоритмом (рисунок 2.6).

1. Задаються довільно або на підставі наявного досвіду коефіцієнти k_j .
2. Будується узагальнений критерій якості (2.6).
3. В залежності від конкретної розв'язуваної задачі визначаються параметри, структура або закони руху крокуючої машини, відповідні максимуми або мінімуми узагальненого критерію якості для набору коефіцієнтів k_j .
4. Обчислюються значення приватних показників (2.7).
5. Проводиться суб'єктивна оцінка приватних показників. Якщо вони задовольняють розробника, то програмний рух вибрано, і алгоритм завершується.
6. Якщо один або деякі показники, на думку розробника, вимагають поліпшення, то відповідний коефіцієнт або коефіцієнти значущості збільшуються, і проводиться перехід до п. 2 алгоритму.

Збільшення одного з вагових коефіцієнтів k_j при незмінних інших коефіцієнтах призводить до поліпшення (зменшення, якщо шукається

мінімум) відповідного приватного показника H_j в силу таких міркувань. нехай знайдено рішення, що забезпечує мінімум виразу (2.6), і дослідник хоче поліпшити один з показників – для визначеності H_1 , збільшуючи для цього відповідний коефіцієнт k_1 на Δk . Тоді нове рішення, що забезпечує мінімум загального критерію якості, має наступний вигляді:

$$I^* = \Delta H_1^* + \sum_j k_j H_j^* \rightarrow \min \quad (2.12)$$

де H_j^* - значення приватних критеріїв, що відповідають новим рішенням.

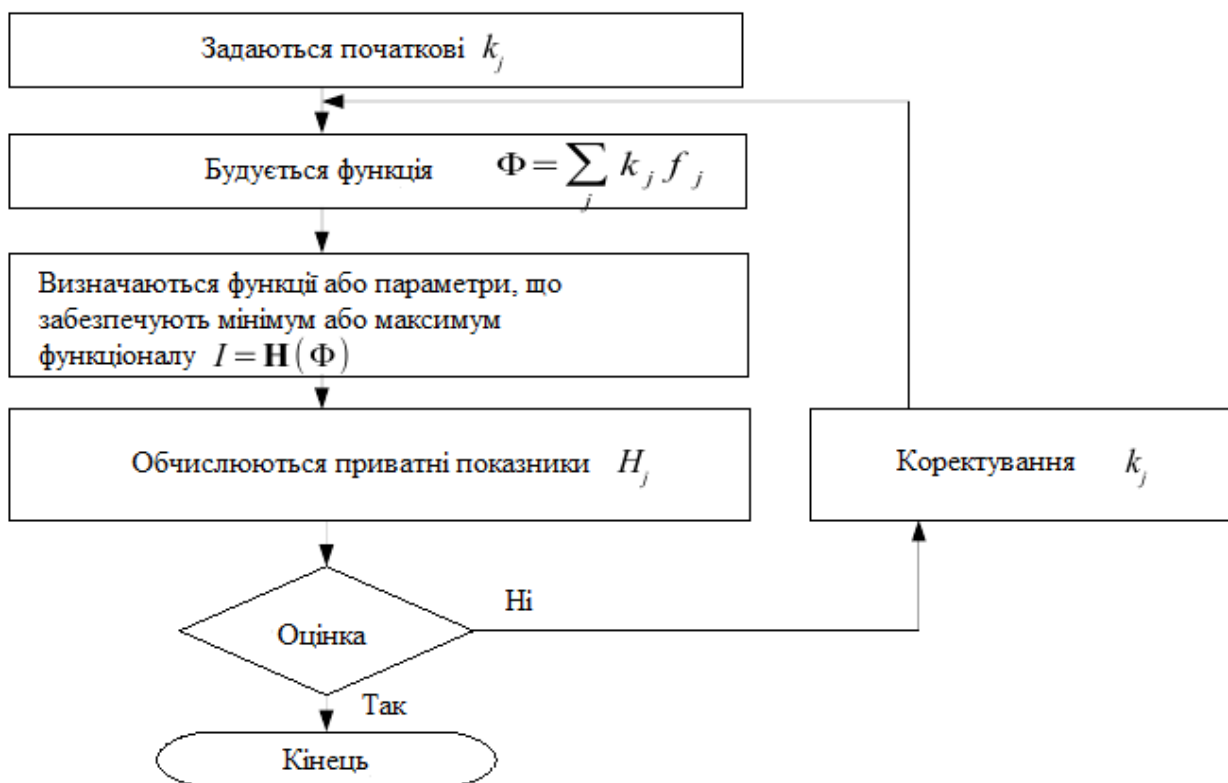


Рисунок 2.7. Алгоритм багатокритеріальної оптимізації

Справедливість вираження (2.6) зокрема означає, що ніяке інше рішення не може дати значення приватних показників, які зменшили б суму (2.6). Отже справедливо нерівність

$$\sum_j k_j H_j^* \rightarrow \sum_j k_j H_j \quad (2.13)$$

З іншого боку, мінімум виразу (2.12) означає справедливість нерівності

$$\Delta k H_1^* + \sum_j k_j H_j^* < \Delta k H_1 + \sum_j k_j H_j \quad (2.14)$$

Звідки випливає

$$\Delta k (H_1^* - H_1) < \sum_j k_j H_j - \sum_j k_j H_j^* < 0 \quad (2.15)$$

або

$$H_1^* < H_1 \quad (2.16)$$

що й потрібно було довести.

Таким чином, вибір оптимального програмного руху відбувається в інтерактивному режимі в інтерфейсі керування. В порівнянні з іншими інтерактивними методами багатокритеріальної оптимізації, наприклад, від методу дослідження простору параметрів [27], в даному випадку безліч допустимих рішень в цілому не визначається і не аналізується.

Розробник вибирає з обмеженої кількості рішень – по одному на кожну ітерацію, кожне з яких є оптимальним в сенсі Парето.

2.3 Теоретико-механічна модель руху

Робота вертикального переміщення розглядаємо, як механічні системи, що складаються з абсолютно твердих тіл, взаємодія між якими може надаватися у вигляді стаціонарних і нестаціонарних зв'язків, а також сил і моментів сил між ними. При моделюванні механічних систем із замкнутими

кінематичними ланцюгами надлишкові зв'язки розрізаються і замінюються відповідними силами [8, 12, 16].

Для зручності автоматизації складання і рішення рівнянь руху вводиться нерухоме базове тіло (середина), з яким зв'язується абсолютна система відліку, що включає в себе декартову прямокутну право орієнтовану систему координат ξ, η, ζ і час t .

Зовнішні сили, які мають вплив на систему, розглядаються в цьому випадку як сили взаємодії між середовищем і тілами системи. Наприклад: сила тяжіння або сила в'язкого опору середовища задаються як сили взаємодії між базовим тілом і відповідним тілом системи. Зв'язки, накладені на тіла системи з боку не входять в систему тіл, розглядаються як зв'язки між тілами системи і середовищем. Так наприклад, взаємодія стоп машини вертикального переміщення з опорною поверхнею в залежності від розв'язуваної задачі моделюється або як геометричний не утримуючий зв'язок, або як пружно-в'язко-пластична сила взаємодії між стопою і базовим тілом [8, 18, 19].

З кожним i твердим тілом, що входять до складу механічної системи, зв'язується рухома система координат x_i, y_i, z_i з початком відліку в центрі мас тіла. Матриця напрямних косинусів для переходу з нерухомої системи відліку в рухливу, пов'язану з i тілом має вигляд:

$$A_i = \begin{vmatrix} \alpha_{i11} & \alpha_{i12} & \alpha_{i13} \\ \alpha_{i21} & \alpha_{i22} & \alpha_{i23} \\ \alpha_{i31} & \alpha_{i23} & \alpha_{i33} \end{vmatrix} \quad (2.17)$$

Задається маса m_i тіла і його тензор інерції (компоненти тензора інерції щодо осей рухомої системи координат позначаються через $J_{ix}, J_{iy}, J_{iz}, J_{ixy}, J_{ixz}, J_{iyz}$).

Розроблюваний підхід дозволяє при реалізації теоретико-механічної моделі об'єднувати в рамках одного програмованого об'єкта як зв'язку, так і силові взаємодії тіл.

Система, що розглядається складається з N тіл, пов'язаних K взаємодіями (зв'язками або силами). Величини відносяться до i тіла позначаються одним індексом ($i = 0, 1, \dots, N$), а величини відносяться до взаємодії двома індексами ij ($j = 0, 1, \dots, N$), перший з яких вказує на тіло до якого прикладено вплив, а другий – з боку якого докладено вплив. Індекс 0 зарезервований для позначення середовища.

Тому рівняння для $i = 0$ не заносяться.

Скориставшись принципом свободи від зв'язків рівняння динаміки просторового руху i тіла в рухомій системі відліку, пов'язаної з цим тілом, можуть бути записані на основі теореми про зміну кількості руху і теореми про зміну кінетичного моменту:

$$\begin{aligned}
 m_i(\dot{V}_{ix} + q_i V_{iz} - r_i V_{iy}) &= \sum_j F_{ijx} \\
 m_i(\dot{V}_{iy} + r_i V_{ix} - p_i V_{iz}) &= \sum_j F_{ijy} \\
 m_i(\dot{V}_{iz} + p_i V_{iy} - q_i V_{ix}) &= \sum_j F_{ijz} \\
 J_{ix}\dot{p}_i - J_{ixy}\dot{q}_i - J_{ixz}\dot{r}_i + (J_{iz} - J_{iy})q_i r_i + J_{iyz}(r_i^2 - q_i^2) + p_i(J_{ixy}r_i - J_{ixz}q_i) \\
 &= \sum_j (N_{ijx} + F_{ijz}y_{ij} - F_{ijy}z_{ij}) \\
 -J_{ixy}\dot{p}_i - J_{iy}\dot{q}_i - J_{iyz}\dot{r}_i + (J_{ix} - J_{iz})r_i p_i + J_{ixz}(p_i^2 - r_i^2) + q_i(J_{iyz}p_i - J_{ixy}r_i) \\
 &= \sum_j (M_{ijy} + F_{ijx}z_{ij} - F_{ijz}x_{ij}) \\
 -J_{ixz}\dot{p}_i - J_{iyz}\dot{q}_i - J_{iz}\dot{r}_i + (J_{iy} - J_{ix})q_i p_i + J_{ixy}(q_i^2 - p_i^2) + r_i(J_{ixz}q_i - J_{iyz}p_i) = \\
 \sum_j (M_{ijz} + F_{ijy}x_{ij} - F_{ijx}y_{ij})
 \end{aligned}
 \tag{2.18}$$

де $V_{ix}, V_{iy}, V_{iz}, p_i, q_i, r_i$ - проекції швидкості центру мас і кутової швидкості твердого тіла на осі рухомої системи координат (квазішвидкості); $F_{ijx}, F_{ijy}, F_{ijz}, M_{ijx}, M_{ijy}, M_{ijz}$ - проекції головного вектора і головного

моменту сил взаємодії i і j тіл на осі рухомої системи координат, пов'язаної з i тілом, щодо точки взаємодії тіл; x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} - координати точки, що належить i тілу, в якій воно взаємодіє з j тілом, задані в рухомій системі координат, пов'язаної з i тілом. Індекс j під знаком суми приймає значення номерів тільки тих тіл, які взаємодіють з i тілом.

Можна записати відповідні формальні умови, однак для спрощення запису ці умови в рівняннях (2.19) опущені, оскільки справедливність рівнянь (2.19) не порушується, навіть якщо індекс j буде приймати значення номерів всіх тіл, що входять в систему.

$$\begin{aligned}\dot{\xi}_i &= V_{ix}\alpha_{i11} + V_{iy}\alpha_{i21} + V_{iz}\alpha_{i31} \\ \dot{\eta}_i &= V_{ix}\alpha_{i12} + V_{iy}\alpha_{i22} + V_{iz}\alpha_{i32} \\ \dot{\zeta}_i &= V_{ix}\alpha_{i13} + V_{iy}\alpha_{i23} + V_{iz}\alpha_{i33}\end{aligned}\tag{2.19}$$

де $\alpha_{i11}, \alpha_{i21}, \alpha_{i31}, \alpha_{i12}, \alpha_{i22}, \alpha_{i32}, \alpha_{i13}, \alpha_{i23}, \alpha_{i33}$ - напрямні косинуси між осями рухомої і нерухомої систем відліку.

Для опису обертальної складової руху можуть бути обрані різні системи узагальнених координат: три незалежних координати (кути Ейлера), чотири координати з одним рівнянням зв'язку (параметри Ейлера або параметри Родріґа-Гамільтона, параметри Келі-Клейна), дев'ять координат з шістьма рівняннями зв'язків (Напрямні косинуси).

Направляючі косинуси між осями рухомої і нерухомої систем координат через параметри Ейлера виражаються формулами, наведеними в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Напрямні косинуси через параметри Ейлера

	ξ	η	ζ
x_i	$\alpha_{i11} = 2(h_{i0}^2 + h_{i1}^2) - 1$	$\alpha_{i12} = 2(h_{i1}h_{i2} - h_{i0}h_{i3})$	$\alpha_{i31} = 2(h_{i1}h_{i3} + h_{i0}h_{i2})$
y_i	$\alpha_{i21} = 2(h_{i1}h_{i2} + h_{i0}h_{i3})$	$\alpha_{i22} = 2(h_{i0}^2 + h_{i2}^2) - 1$	$\alpha_{i23} = 2(h_{i2}h_{i3} - h_{i0}h_{i1})$
z_i	$\alpha_{i31} = 2(h_{i1}h_{i3} - h_{i0}h_{i2})$	$\alpha_{i32} = 2(h_{i2}h_{i3} - h_{i0}h_{i1})$	$\alpha_{i33} = 2(h_{i0}^2 + h_{i3}^2) - 1$

Для перетворення параметрів Ейлера один в одного служать вираження через напрямні косинуси:

$$\begin{aligned} \sin\theta_i &= -\alpha_{i32}, \quad \cos\theta_i = \pm\sqrt{1 - \sin^2\theta_i} \\ \sin\psi_i &= \alpha_{i31}/\cos\theta_i, \quad \cos\psi_i = \alpha_{i33}/\cos\theta_i \\ \sin\varphi_i &= \alpha_{i12}/\cos\theta_i, \quad \cos\varphi_i = \alpha_{i22}/\cos\theta_i \end{aligned}$$

А для обчислення параметрів Ейлера використовується наступний алгоритм.

1) Обчислюється значення h_{i0} :

$$\begin{aligned} h_{i0} &= \pm \sqrt{\frac{1 + \alpha_{i11} + \alpha_{i22} + \alpha_{i33}}{4}} \neq 0 \\ h_{i1} &= (\alpha_{i32} - \alpha_{i23})/4h_{i0} \\ h_{i2} &= (\alpha_{i13} - \alpha_{i31})/4h_{i0} \\ h_{i3} &= (\alpha_{i21} - \alpha_{i12})/4h_{i0} \end{aligned}$$

Якщо $h_{i0} \neq 0$, то обчислюються інші параметри. В іншому випадку слід перейти до пункту 2.

2) Обчислюється значення h_{i1} :

$$\begin{aligned} h_{i0} &= 0 \\ h_{i1} &= \pm \sqrt{\frac{1 + \alpha_{i11}}{2}} \neq 0 \\ h_{i2} &= \alpha_{i12}/2h_{i1} \\ h_{i3} &= \alpha_{i13}/2h_{i1} \end{aligned}$$

Якщо $h_{i1} \neq 0$, то обчислюються інші параметри. В іншому випадку слід перейти до пункту 3.

3) Обчислюється значення h_{i2} :

$$h_{i0} = 0$$

$$h_{i1} = 0$$

$$h_{i2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \alpha_{i22}}{2}} \neq 0$$

$$h_{i3} = \alpha_{i23} / 2h_{i2}$$

Якщо $h_{i12} \neq 0$, то обчислюються інші параметри. В іншому випадку слід перейти до пункту 4.

4) У цьому випадку, параметри визначаються наступним чином:

$$h_{i0} = 0$$

$$h_{i1} = 0$$

$$h_{i2} = 0$$

$$h_{i3} = \pm 1$$

Якщо взаємодія між i і j тілами задається за допомогою силового поля тієї чи іншої природи, то згідно з принципом суперпозиції сили взаємодії між цими тілами не залежать від наявності або відсутності зв'язків або інших силових полів. У цьому випадку рівняння можуть бути представлені у вигляді шести виразів, які задають закони зміни головного вектора і головного моменту сил взаємодії між тілами як функцій часу, координат і швидкостей взаємодіючих тіл:

$$F_{\xi} = F_{\xi}(t, X_i, V_i, X_j, V_j)$$

$$F_{\eta} = F_{\eta}(t, X_i, V_i, X_j, V_j)$$

$$F_{\zeta} = F_{\zeta}(t, X_i, V_i, X_j, V_j)$$

$$M_{\xi} = M_{\xi}(t, X_i, V_i, X_j, V_j)$$

$$M_{\eta} = M_{\eta}(t, X_i, V_i, X_j, V_j)$$

$$M_{\zeta} = M_{\zeta}(t, X_i, V_i, X_j, V_j)$$

Силіві взаємодії робота вертикального переміщення

а) Сила тяжіння задається як сила взаємодії i тіла і середовища, позначається індексом j . Точка приведення для i тіла знаходиться в центрі мас ($x_{ij} = 0, y_{ij} = 0, z_{ij} = 0$), для j тіла не визначена. Рівняння сил і моментів сил:

$$F_{\xi} = 0$$

$$F_{\eta} = 0$$

$$F_{\zeta} = -m_i g$$

$$M_{\xi} = 0$$

$$M_{\eta} = 0$$

$$M_{\zeta} = 0$$

де g - прискорення вільного падіння.

б) Сили опору середовища.

$$F_{\xi} = -k_i \xi_i \sqrt{\xi_i^2 + \eta_i^2 + \zeta_i^2}$$

$$F_{\eta} = -k_i \eta_i \sqrt{\xi_i^2 + \eta_i^2 + \zeta_i^2}$$

$$F_{\zeta} = -k_i \zeta_i \sqrt{\xi_i^2 + \eta_i^2 + \zeta_i^2}$$

$$M_{\xi} = 0$$

$$M_{\eta} = 0$$

$$M_{\zeta} = 0$$

де k_i - коефіцієнт опору середовища для i тіла.

Точкою приведення є центр опору.

в) Стежачий привід. При обертанні тіла навколо однієї з осей, наприклад, навколо осі η , приводний двигун, що працює створює відповідний момент:

$$F_{\xi} = 0$$

$$F_{\eta} = 0$$

$$F_{\zeta} = 0$$

$$M_{\xi} = 0$$

$$M_{\eta} = C_{\psi}(\psi^*(t) - \psi_i) + C_q(\psi^*(t) - q_i)$$

$$M_{\zeta} = 0$$

де C_{ψ}, C_q - постійні коефіцієнти, $\psi^*(t)$ - відстежується закон зміни кута повороту навколо осі η .

г) Точковий контакт з пружно-в'язко-пластично не утримуючою поверхнею. Для цілей моделювання контакту стопи машини вертикального переміщення з опорною поверхнею вводиться силова взаємодія, що має такі властивості. Сили взаємодії відмінні від нуля тільки при наявності контакту з поверхнею, сам контакт є одностороннім, вважається що тіло контактує з поверхнею з боку позитивного напрямку осі ζ (рисунок 2.8).

Опорна поверхня, пов'язана з j тілом, задається у вигляді функції:

$$\zeta = f(\xi, \eta)$$

де кожній парі значень ξ, η (вісь η на рисунку 2.8 не показана) поставлено у відповідність тільки одне значення ζ . Це гарантує зокрема, що нормаль до такої поверхні матиме ненульову проекцію на вісь ζ . Для визначення нормалі і дотичної площині також потрібно, щоб функція мала безперервні приватні похідні $f'_\xi(\xi, \eta), f'_\eta(\xi, \eta)$.

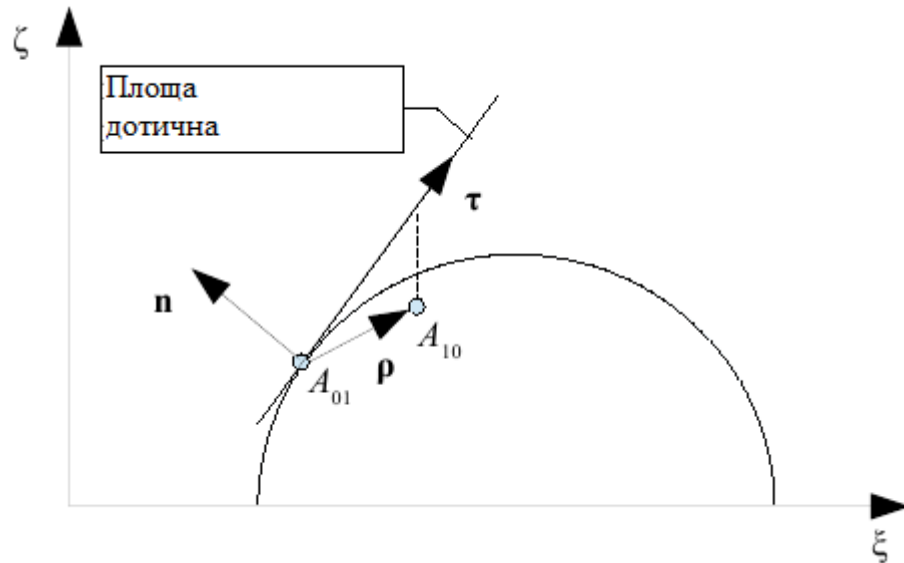


Рисунок 2.8. Розрахункова схема неутримуючого зв'язку

Рівняння зв'язку, має вигляд:

$$D(\xi, \eta, \zeta) = f(\xi, \eta) - \zeta = 0$$

Приватні похідні визначаються у вигляді:

$$D'_\xi(\xi, \eta, \zeta) = f'_\xi(\xi, \eta)$$

$$D'_\eta(\xi, \eta, \zeta) = f'_\eta(\xi, \eta)$$

$$D'_\zeta(\xi, \eta, \zeta) = -1$$

Радіус-вектор між точками A_{ji} і A_{ij} і його похідна (швидкість точки A_{ij} щодо точки A_{ji} , по суті - абсолютна швидкість точки A_{ij} , так як точка A_{ji} нерухома) в нерухомій системі відліку визначаються виразами:

$$\rho_{\xi} = \xi_{ij} - \xi_{ji}$$

$$\rho_{\eta} = \eta_{ij} - \eta_{ji}$$

$$\rho_{\zeta} = \zeta_{ij} - \zeta_{ji}$$

$$\dot{\rho}_{\xi} = \dot{\xi}_{ij}$$

$$\dot{\rho}_{\eta} = \dot{\eta}_{ij}$$

$$\dot{\rho}_{\zeta} = \dot{\zeta}_{ij}$$

Окремо задаються коефіцієнти жорсткості і в'язкості поверхні в нормальному (c_n, μ_n) і дотичному (c_{τ}, μ_{τ}) напрямках, а також коефіцієнт зчеплення λ_{τ} в дотичному напрямку. Тоді сили взаємодії тіла з поверхнею в природній системі відліку визначаються виразами:

$$F_n = -c_n \rho_n - \mu_n \dot{\rho}_n$$

$$F_{\tau}^* = -c_{\tau} \rho_{\tau}$$

$$F_b^* = -c_{\tau} \rho_b$$

$$F_{\tau}^{**} = \lambda_{\tau} |F_n| F_{\tau}^* \sqrt{(F_{\tau}^*)^2 + (F_b^*)^2}$$

$$F_b^{**} = \lambda_{\tau} |F_n| F_b^* \sqrt{(F_{\tau}^*)^2 + (F_b^*)^2}$$

Зв'язок, що обмежує взаємне переміщення i і j тіл являє собою умову рівності координат точок взаємодії тіл в абсолютній системі відліку. Відповідні рівняння зв'язку мають вигляд:

$$D_{\xi} = (\xi_i + x_{ij}\alpha_{i11} + y_{ij}\alpha_{i21} + z_{ij}\alpha_{i31}) - (\xi_j + x_{ji}\alpha_{j11} + y_{ji}\alpha_{j21} + z_{ji}\alpha_{j31}) = 0$$

$$D_{\eta} = (\eta_i + x_{ij}\alpha_{i12} + y_{ij}\alpha_{i22} + z_{ij}\alpha_{i32}) - (\eta_i + x_{ji}\alpha_{j12} + y_{ji}\alpha_{j22} + z_{ji}\alpha_{j32}) = 0$$

$$D_{\zeta} = (\zeta_i + x_{ij}\alpha_{i13} + y_{ij}\alpha_{i23} + z_{ij}\alpha_{i33}) - (\zeta_i + x_{ji}\alpha_{j13} + y_{ji}\alpha_{j23} + z_{ji}\alpha_{j33}) = 0$$

де x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} - координати точки впливу j тіла на i тіло в рухомій системі координат, пов'язаної з i тілом; x_{ji}, y_{ji}, z_{ji} - координати точки впливу i тіла на j тіло в рухомій системі координат, пов'язаної з j тілом.

Висновки до розділу

В даному розділі було проаналізовано модель руху крокуючого робота, включаючи основні показники якості. Проведено порівняння з іншими типами конструкцій роботів для аргументації переваг обраної конструкції. Також проаналізовано теоретико-механічну модель руху крокуючого робота та вивчено методи багатокритеріальної оптимізації та можливість їх застосування для вирішення поставленої задачі.

РОЗДІЛ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ ТА ЗАКОНІВ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ

3.1 Багатокритеріальна оптимізація режимів технологічних операцій

Проведемо оптимізацію роботи приводу, що використовується в приводах рушіїв робота вертикального переміщення.

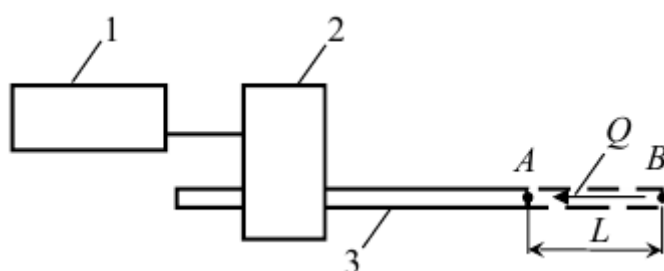


Рисунок 3.1. Розрахункова схема (1. двигун, 2. редуктор, 3. шток)

Розглядається переміщення штока з положення А в положення В. На межах ділянки АВ швидкість штока задається рівною нулю. В якості узагальненої координати вибирається кут повороту вала двигуна φ . Заданому переміщенню штока за час τ на величину L відповідає поворот вала двигуна на кут φ_τ . Потім здійснюється рух у зворотний бік по тому ж закону. Тому τ - час половини циклу. Приведений до вала двигуна постійний момент інерції позначається через J . Корисна сила опору руху Q задається пропорційною кутовою швидкістю $\dot{\varphi}$, коефіцієнт пропорційності позначається через μ . Оптимізація здійснюється по узагальненого критерію з підінтегральною функцією якості Φ :

$$\Phi = k_1 f_1 + k_w f_w = \frac{k_1}{g^2} r^2 \ddot{\varphi}^2 + \frac{k_w \tau \alpha}{\bar{A}} (J \ddot{\varphi} + \mu \dot{\varphi})^2 \quad (3.1)$$

де f_1 - функція, відповідна приватному критерію комфортабельності руху (мінімуму середньоквадратичного прискорення штока); f_w - функція, відповідна приватному критерію мінімуму теплових втрат в електродвигуні постійного струму; k_1, k_w - вагові коефіцієнти; r - умовний радіус, що зв'язує між собою переміщення штока і кут повороту вала двигуна; α - постійний коефіцієнт, що характеризує двигун; g, A - постійні нормуючі коефіцієнти, що мають розмірність прискорення і роботи відповідно.

Рівняння Ейлера-Лагранжа набуває вигляду

$$\left(\frac{k_1}{g^2} r^2 + J^2 \frac{k_w \tau \alpha}{\bar{A}}\right) \varphi^{(4)} - \left(\mu^2 \frac{k_w \tau \alpha}{\bar{A}}\right) \ddot{\varphi} = 0 \quad (3.2)$$

Граничні умови:

$$\dot{\varphi}_0 = \dot{\varphi}_\tau = \omega_0$$

$$\varphi_0 = 0$$

$$\varphi_\tau = 2\pi$$

Оцінка здійснюється за частковими критеріями: \tilde{H}_1 – квадрату середньоквадратичного прискорення і \tilde{H}_w - квадрату середньоквадратичного значення моменту сил, що розвивається двигуном:

$$\tilde{H}_1 = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \ddot{\varphi}^2 dt \quad (3.3)$$

$$\tilde{H}_w = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \left(\frac{J}{\mu} \ddot{\varphi}^2 + \dot{\varphi}\right)^2 dt \quad (3.4)$$

Тоді, при відповідному виборі нормуючих коефіцієнтів g і A , можна отримати залежності приватних показників від співвідношення вагових коефіцієнтів, представлені на рисунку 3.2.

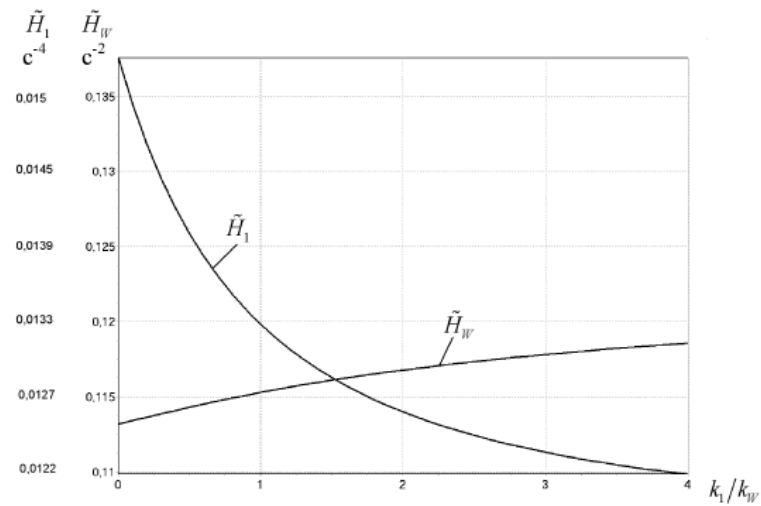


Рисунок 3.2. Залежності приватних показників якості від співвідношення вагових коефіцієнтів

Їх аналіз дозволяє здійснити суб'єктивний вибір програмного режиму руху керованого двигуна.

Рішення, що виходять за допомогою рівняння Ейлера-Лагранжа, є Парето оптимальними, і зазвичай їх прийнято зображати у вигляді кордону Парето в координатних осях \tilde{H}_1 і \tilde{H}_w (рисунок 3.3).

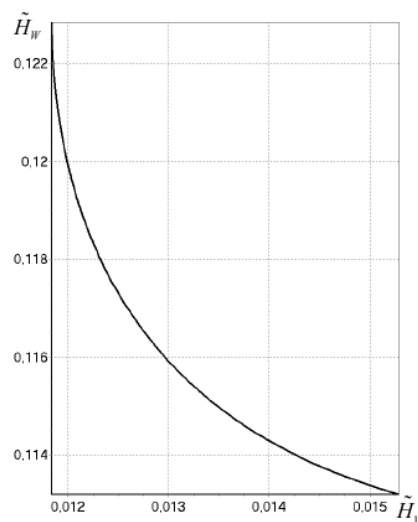


Рисунок 3.3. Кордон Парето

Однак форма подання, наведена на рисунку 3.2 в ряді випадків зручніша, так як надає інструмент вибору не тільки одного з рішень, але і вагових коефіцієнтів, які дозволяють знайти це рішення.

Наприклад, найкраще (в даному випадку - мінімальне) значення показника H_W і одночасно найгірше значення показника H_1 відповідає значенню $k_1 = 0$.

Прагнучи поліпшити показник H_1 , доведеться погодитися на погіршення показника H_W , і за графіками 3.2 можна визначити не тільки значення самих показників, але і значення (точніше співвідношення) вагових коефіцієнтів, які при підстановці в (3.4) дають можливість визначити закон руху механізму, що забезпечує отримання необхідних значень показників.

Закони зміни кутової швидкості для різних співвідношень вагових коефіцієнтів k_1 / k_W показані на рисунку 3.4.

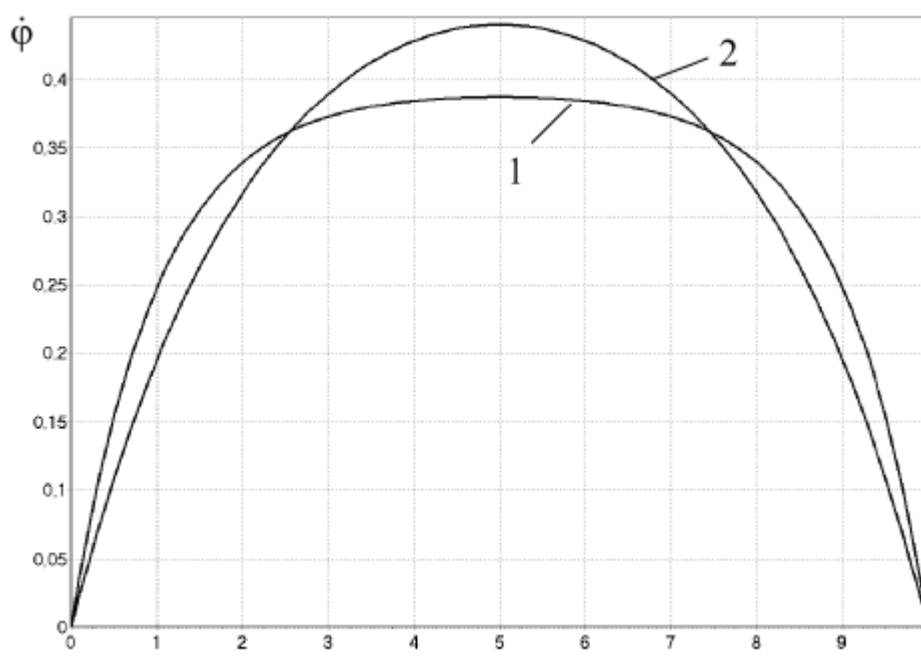


Рисунок 3.4. Закони зміни кутової швидкості:

$$1 - k_1 / k_W = 0,2 - k_1 / k_W = 4.$$

При оптимізації чотириноного робота вертикального переміщення, кількість приватних критеріїв дорівнює 9:

$$H_{aj} = \frac{1}{g^2 \tau} \int_0^\tau a_j^2 dt$$

$$H_{\varepsilon j} = \tau \int_0^\tau \varepsilon_j^2 dt$$

$$H_w = \frac{\alpha}{A} \int_0^\tau M_{дв}^2 dt$$

де $H_{aj}, H_{\varepsilon j}$ - безрозмірні квадрати середньоквадратичних прискорень центру мас j ланки і кутового прискорення j ланки; $j = 1, 2, 3, 4$ - номери ланок механізму крокування; H_w - безрозмірні теплові втрати.

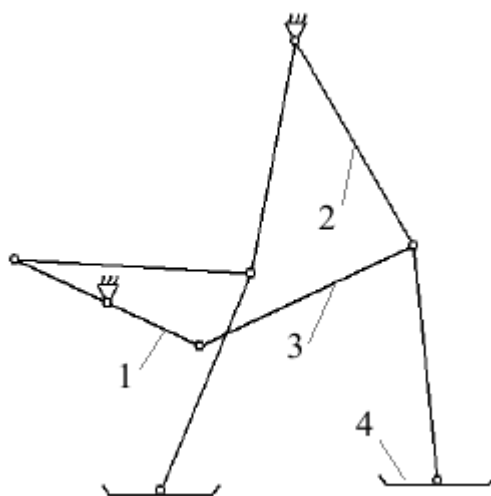


Рисунок 3.5. Крокуючий рушій

Підінтегральна функція якості має вигляд, відповідний приватному випадку:

$$\Phi = \sum k_j (\beta_{1j}(\varphi) \dot{\varphi}^4 + \beta_{2j}(\varphi) \dot{\varphi}^2 \ddot{\varphi} + \beta_{3j}(\varphi) \ddot{\varphi}^2) \frac{1}{g^2 \tau} + \sum k_{N+j} (\gamma_{1j}(\varphi) \dot{\varphi}^4 + \gamma_{2j}(\varphi) \dot{\varphi}^2 \ddot{\varphi} + \gamma_{3j}(\varphi) \ddot{\varphi}^2) \tau + k_w \frac{\alpha}{A} \left(J(\varphi) \ddot{\varphi} + \frac{1}{2} \frac{\partial J}{\partial \varphi} \dot{\varphi}^2 + Q(\varphi) \right)^2$$

де $\beta_{1j}, \beta_{2j}, \beta_{3j}, \gamma_{1j}, \gamma_{2j}, \gamma_{3j}$ - передавальні функції механізму, J - приведений момент інерції.

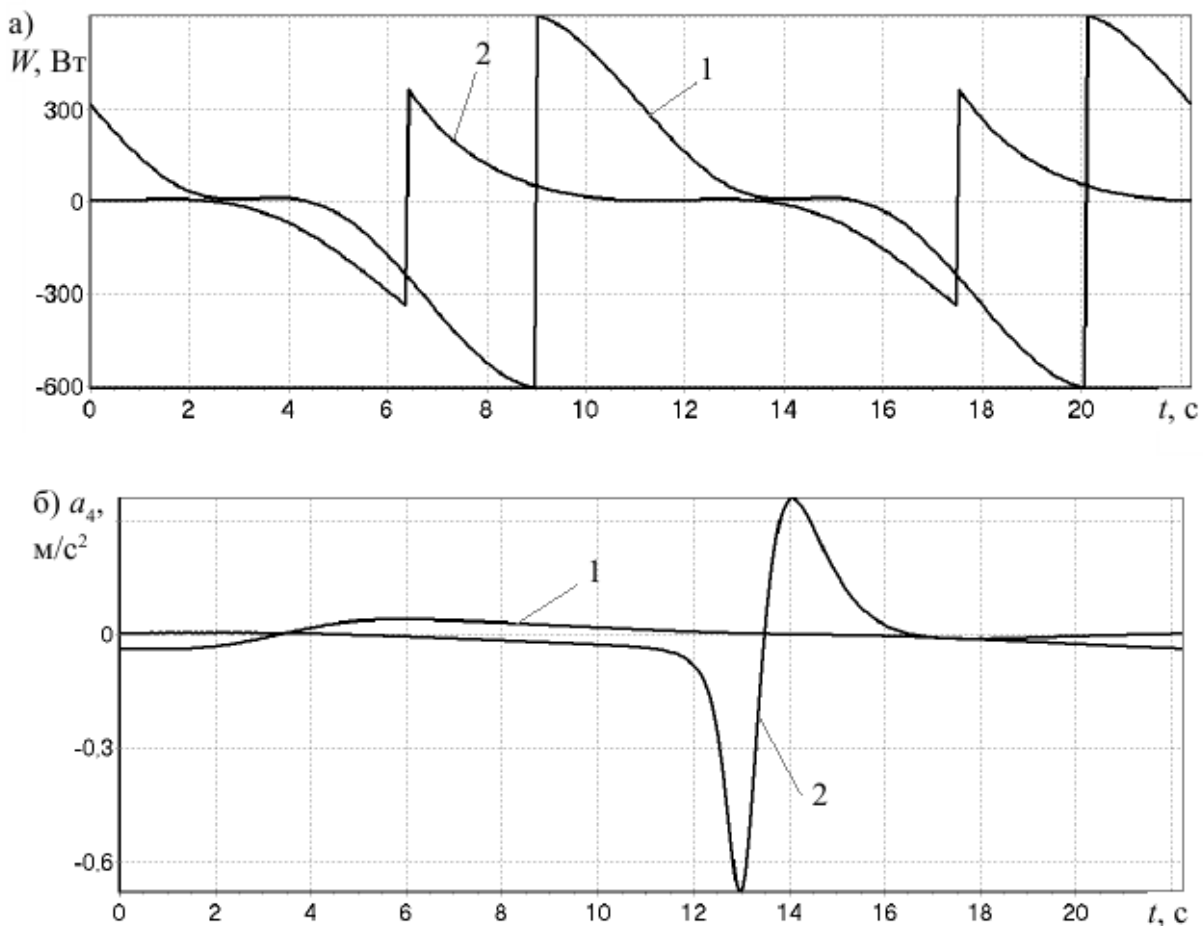


Рисунок 3.6. Залежності потужності двигуна (а) і прискорення стопи (б) від часу для випадку обертання кривошипа з постійною кутовою швидкістю (1) і для одного з можливих законів управління обертанням кривошипа (2).

Для чисельного рішення рівняння Ейлера-Лагранжа після підстановки в нього функції Φ виписуються різницеві схеми, відповідні приватним і

повним похідним, в результаті чого рівняння зводиться до звичайного диференціального рівняння четвертого порядку щодо узагальненої координати φ . Значення функції Φ , що входять в різницеві схеми, визначаються з теоретико-механічній моделі руху апарату.

На рисунку 3.6 показаний приклад одного з можливих рішень, що ілюструє поліпшення (зменшення) потужності двигуна W (рисунок 3.6.а) з одночасним погіршенням (збільшенням) прискорення стопи a_4 (рисунок 3.6.б).

Обмежуючись розглядом синхронної ходи, коли всі рушії працюють в одній фазі, і з огляду на тільки рух по горизонтальній осі, розрахункову схему крокуючої машини з цикловими рушіями можна подати у вигляді, який зображено на рисунку 3.7.

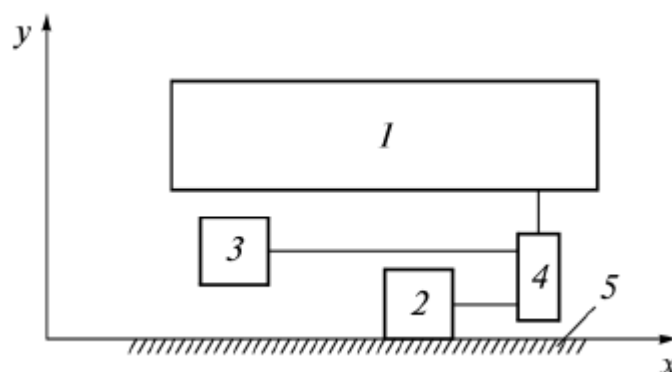


Рисунок 3.7. Розрахункова схема машини вертикального переміщення
1. корпус, 2. еквівалентний механізм, що крокує в фазі, 3. еквівалентний механізм, що крокує в фазі переносу, 4. привід курсового руху, 5. опорна поверхня

Вже згадана механічна система має два ступені свободи, забезпечують незалежні рухи механізмів крокування в фазі переносу і механізмів в фазі опори на ґрунт.

Рекуперація енергії відбувається в такий спосіб. У тій фазі крокового циклу, коли прискорений рух стоп знаходиться в перенесенні, іншої стопи, що знаходиться в опорі, а разом з ними і корпус машини рухаються

уповільнено. За рахунок інерції корпусу, моменти на провідних валах опорних механізмів, що крокують стають негативними, і, при сталості моменту що розвивається двигуном, моменти на провідних валах механізмів зростає.

Диференціальні рівняння руху можуть бути зведені до рівняння [18]:

$$J\dot{\phi} = \dot{T} + Q\dot{x}_1$$

де L - момент сил, що розвивається двигуном, $\dot{\phi}$ - кутова швидкість обертання вала двигуна, T - кінетична енергія системи, Q - сила опору руху, \dot{x}_1 - швидкість корпусу машини.

Вважаючи, що незворотні втрати потужності пропорційні квадрату узагальненої сили L , що характерно наприклад для асинхронних двигунів, показник якості має вигляд:

$$H = \alpha L^2 = \int_0^{\tau/2} \frac{\alpha}{\dot{\phi}} (\dot{T} + Q\dot{x}_1)^2 dt$$

де α - постійний коефіцієнт, що характеризує двигун; τ – період циклу, відповідний двом крокам.

За один крок корпус машини проходить відстань S , а стопа переноситься на $-2S$. Це відповідає умовам:

$$\int_0^{\tau/2} \dot{x}_1 dt = S$$

$$\int_0^{\tau/2} \dot{x}_2 dt = 2S$$

де x_2^* - швидкість стопи механізму крокування.

3.2 Оптимізація структури циклових рухів на основі введення механізму-коректора

Основною перевагою циклових механізмів крокування, є простота їх конструкції і управління. Такі рушії дозволяють ефективно вирішувати завдання ґрунтової прохідності при постійній в межах крокового циклу швидкості обертання вхідної ланки механізму. При цьому недосконалість траєкторії опорної точки призводить до значних вертикальних переміщень корпусу машини при кожному кроці, а нерівномірність горизонтальної швидкості стопи в опорній фазі призводить до періодичного розгону і гальмування корпусу. Крім того, в моменти постановки стопи на ґрунт її вертикальна швидкість відрізняється від нуля, що призводить до ударних навантажень. Усунення цих недоліків можна домогтися шляхом управління кутовою швидкістю вхідних ланок рушіїв, однак це значно ускладнює систему управління машиною.

Альтернативою є внесення структурних змін в схему машини: збільшення кількості спільно працюючих механізмів або використання додаткових механізмів в трансмісії, що змінюють закон обертання вхідної ланки рушія при постійній кутовій швидкості вала двигуна. Однак при цьому можуть зменшуватися довжина кроку і збільшуватися прискорення ланок механізмів.

Таким чином, завдання багатокритеріальної оптимізації машини з цикловими механізмами крокування включає в себе облік наступних приватних критеріїв якості:

- складність конструкції H_1 , що визначається кількістю механізмів або ланок механізмів;
- довжина кроку, для зручності показник H_2 визначається як різниця між постійною довжиною траєкторії і довжиною кроку;

- висота вертикальних переміщень корпусу на кожному кроці Н3;
- нерівномірність горизонтальної швидкості в опорній фазі Н4;
- максимальне прискорення стопи в опорній фазі, що визначає некомфортабельний рух корпусу Н5;
- максимальне прискорення стопи у фазі переносу, що визначає інерційні навантаження на привід Н6;
- швидкість стопи в момент постановки її на ґрунт, що визначає удари при зміні ніг Н7.

Можуть бути враховані і інші показники.

Для циклових механізмів крокування, що поєднані в один рушій, програмні режими руху забезпечують зв'язок між ланками механізмів, що реалізують таку різницю фаз між провідними кривошипамі, щоб в кожен момент часу тільки один з вхідних в рушій механізмів крокування знаходився в контакті з опорною поверхнею.

Таким чином, кількість механізмів, що включаються в один рушій обмежена тільки доцільністю і складністю технічної реалізації. На рисунку 3.8 представлена принципова схема машини з декількома рушійми, кожен з яких складається з трьох механізмів крокування. На рисунку 3.9 показані залежності показників якості при зміні вагового коефіцієнта складності конструкції при фіксованих значеннях інших коефіцієнтів.



Рисунок 3.8. Схема машини з рушійми, що складаються з трьох механізмів

Штрихові лінії позначають зв'язок між провідними ланками. Інший підхід пов'язаний з використанням в трансмісії рушіїв додаткових механізмів, що забезпечують коригування закону руху провідної ланки основного

механізму. Використання такого роду механізмів відповідає зміні зв'язку між вихідною ланкою приводу і провідною ланкою механізму крокування.

Одним з розглянутих в дослідженні механізмів-коректорів є важільний чотириланковий механізм, показаний на рисунку 3.9.а. провідна ланка - кривошип 5 механізму-коректора обертається з постійною кутовою швидкістю, другий кривошип механізму коректора є одночасно кривошипом 1 основного механізму крокування і обертається нерівномірно [13, 18, 19].

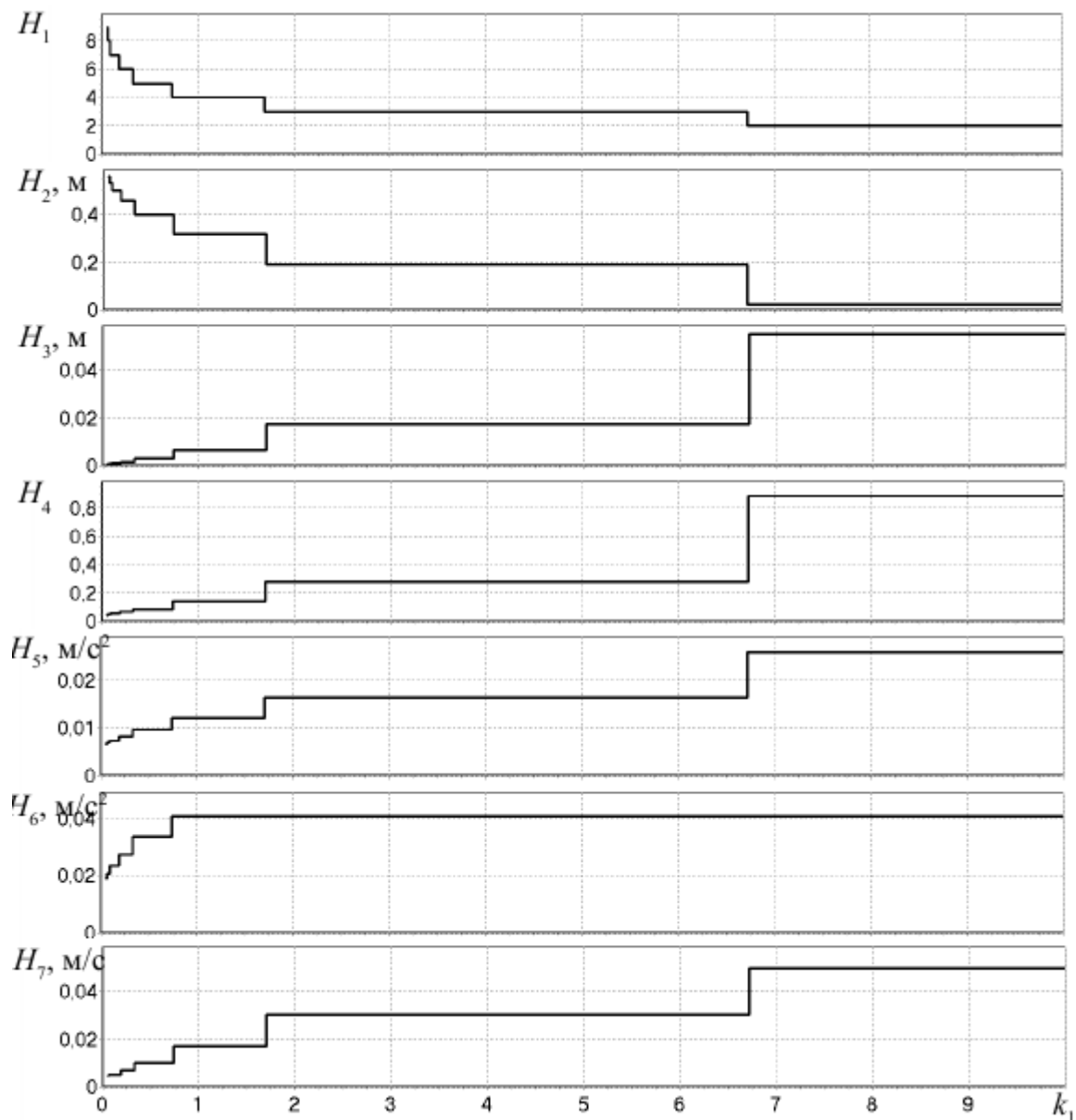


Рисунок 3.9. Зміна приватних показників якості в залежності від вагового коефіцієнта складності конструкції

Траєкторія опорної точки залишається незмінною, а закон руху залежить від співвідношення розмірів механізму-коректора. При відповідному виборі параметрів – розмірів механізму-коректора можна домогтися оптимуму за допомогою одного з приватних критеріїв якості, але оскільки критерії знаходяться в суперечності один з одним, то вирішується завдання пошуку компромісного рішення.

Рішення задачі багатокритеріальної оптимізації такого механізму ґрунтувалося на методі пошуку в багатовимірному кубі параметрів механізму-коректора. Кількість змінних параметрів дорівнює чотирьом: довжині ланок 5 і 6, координатам осі обертання кривошипа 5 в системі координат, пов'язаної з віссю кривошипа 1.

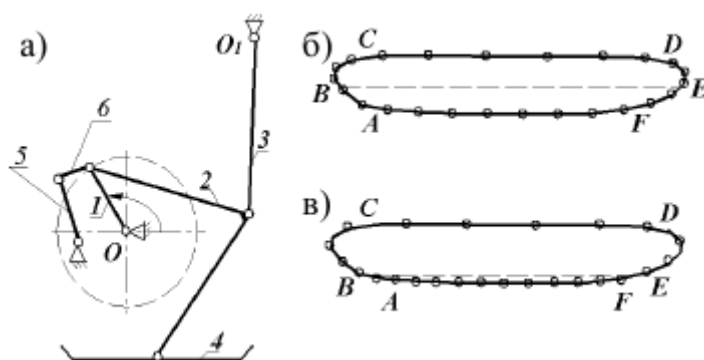


Рисунок 3.10. Механізм, що крокує з важільним механізмом корекції. а) схема механізму, б) відносна траєкторія опорної точки механізму без коректора, в) відносна траєкторія опорної точки механізму з коректором,
1. кривошип, 2. шатун, 3. коромисло, 4. стопа, 5. кривошип коректора,
6. шатун коректора.

На рисунку 3.11 показані залежності від вагового коефіцієнта, відповідного вертикальним переміщенням корпусу машини на кожному кроці, наступних приватних критеріїв якості:

- довжина кроку Н1;
- висота вертикальних переміщень корпусу на кожному кроці Н2;
- нерівномірність горизонтальної швидкості в опорній фазі Н3;
- максимальне прискорення стопи в опорній фазі Н4;

- максимальне прискорення стопи у фазі переносу Н5;
- швидкість стопи в момент постановки її на ґрунт Н6.

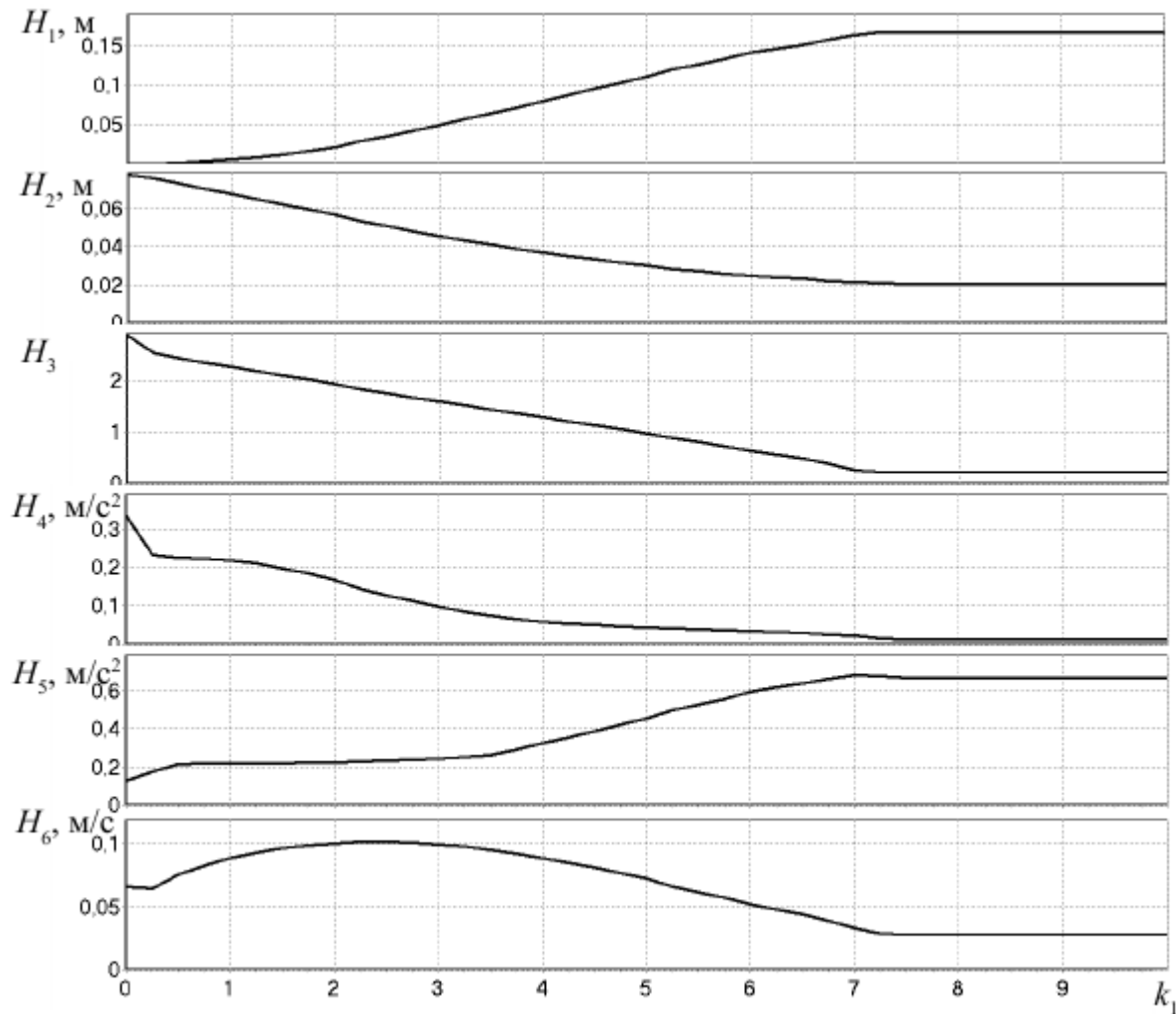


Рисунок 3.11. Зміна приватних показників якості в залежності від вагового коефіцієнта висоти вертикальних переміщень корпусу при використанні механізму-коректора

3.3 Оптимізація структури робота з парними крокуючими рушіями

Відключення або вихід з ладу одного з приводів фактично призводить до появи нової кінематичної схеми, яка відрізняється від попередньої тим, що має на одну керовану ступінь свободи менше.

Кількість можливих конфігурацій машини при виключенні з роботи декількох приводів визначається числом сполучень з n по k :

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

де $n = 20$ – загальна кількість приводів, k – кількість працюючих приводів.

Так, при непрацюючому (відсутньому) одному приводі, можливі 20 різних кінематичних схем, в залежності від того, який з приводів був відключений. Звичайно, багато хто з цих схем будуть давати однаковий набір можливих ходи, що дозволяє спростити задачу, розглядаючи тільки деякі з цих схем.

Однак при відключенні двох приводів, кількість варіантів кінематичних схем зростає до 190, і навіть завдання визначення варіантів, дають однакові ходи, стає досить складною. Ще більше трудомісткість рішення зростає при трьох і більше непрацюючих приводах.

Для аналізу результатів вводяться безрозмірні відносні величини: відносна площа і відносна відстань.

Відносна площа χ визначається як відношення площі області стійкості до площі прямокутника, утвореного поздовжньою і поперечною базами машини:

$$\chi = S / ab$$

де S - площа опорного трикутника; a , b - відповідно поздовжня і поперечна бази.

Відносна відстань ζ - відношення подвоєної найкоротшої відстані R від геометричного центру корпусу до кордонів області стійкості до менших із значень поздовжньої і поперечної баз машини:

$$\zeta = 2R / \min(a, b)$$

Алгоритм обчислення критеріїв статичної стійкості для заданого набору параметрів полягає в послідовному виконанні ітерацій:

- визначаються координати вершин опорних трикутників для крайніх (початкових і кінцевих) положень рушіїв на кожному кроці;
- визначається область стійкості як область взаємного перетину опорних трикутників;
- визначається площа області стійкості і обчислюється відносна площа;
- якщо геометричний центр корпусу знаходиться всередині області стійкості, то визначаються відстані від центру до меж області стійкості, вибирається з них мінімальне значення, обчислюється відносна відстань;
- якщо геометричний центр корпусу знаходиться всередині області стійкості, то робиться висновок про неприпустимість руху з розглянутими параметрами ходи.

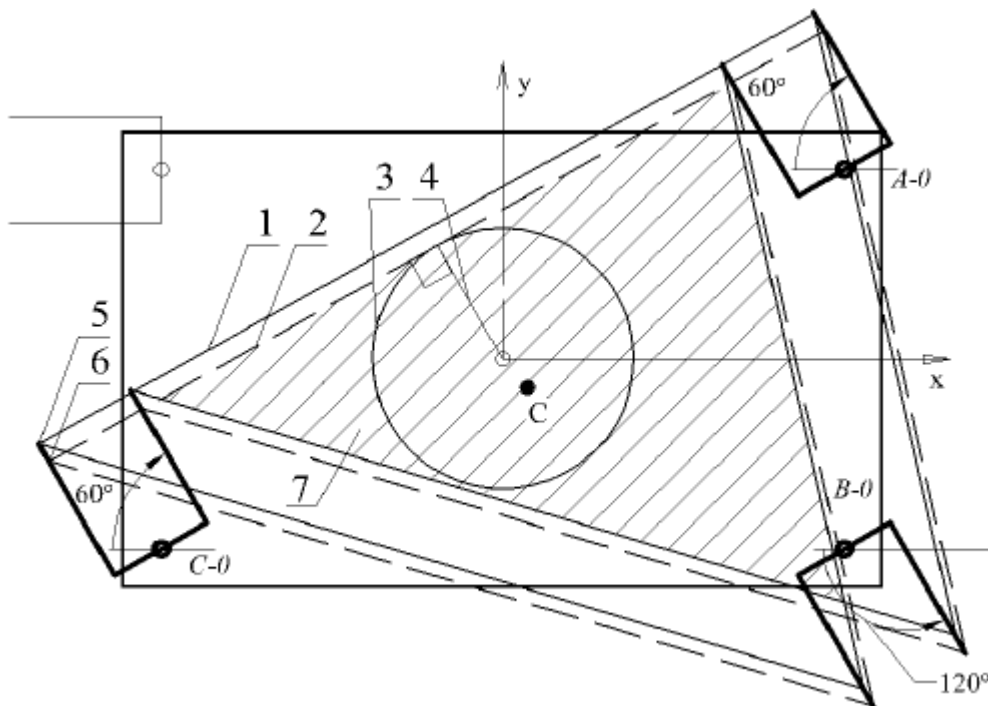


Рисунок 3.12. Область стійкості

Для кожної комбінації орієнтації рушіїв і лінійної синхронної ходи обчислюються залежно до критеріїв статичної стійкості від кута α для різних довжин кроків.

На рисунках 3.13 і 3.14 показані залежності відносної площі і відносної відстані від кута α при русі з ходою q_3 і орієнтацією рушіїв $\{0, -, \pi, 0\}$ для робота вертикального переміщення. Чисельні значення параметрів

: $a = 2,2 \text{ м}, b = 1,6 \text{ м}, h = 0,2 \text{ м}, [R_{\max}] = 0,655 \text{ м}, [r_{\min}] = 0,200 \text{ м}.$

Максимальне програмне висування курсового приводу прийнято рівним максимальному конструктивному значенню $r_{\max} = 0,655 \text{ м}$, а мінімальне висування r_{\min} варіювалося в межах від 0,200 до 0,600 м. Таким чином, довжина кроку варіювалася в межах від 0,055 до 0,455 м.

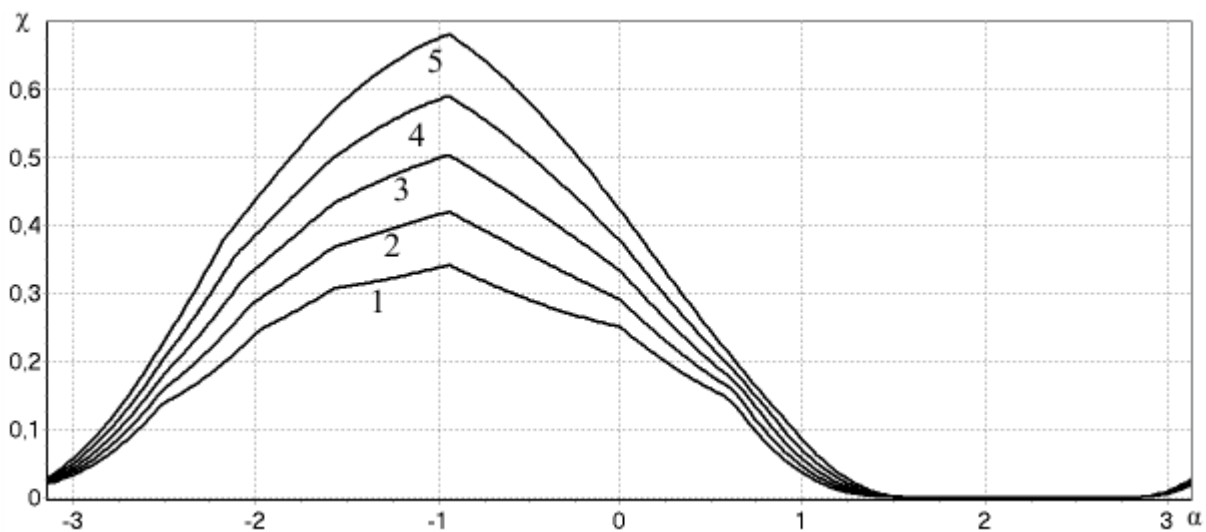


Рисунок 3.13. Відносна площа опорної поверхні χ в залежності від кута повороту рушіїв α для різних довжин кроків. Довжина кроку: 1 - 0,455; 2 - 0,355; 3 - 0,255, 4 - 0,155; 5 - 0,055 м.

Аналіз результатів показує, що зі зменшенням довжини кроку відносна площа і відстань збільшуються, а максимальні значення спостерігаються при дотриманні умов:

- два рушія орієнтовані однаково, а третій - в протилежному напрямку;

- фаза опори на ґрунт реалізується при максимальному видаленні стоп від осі поворотного рушія.

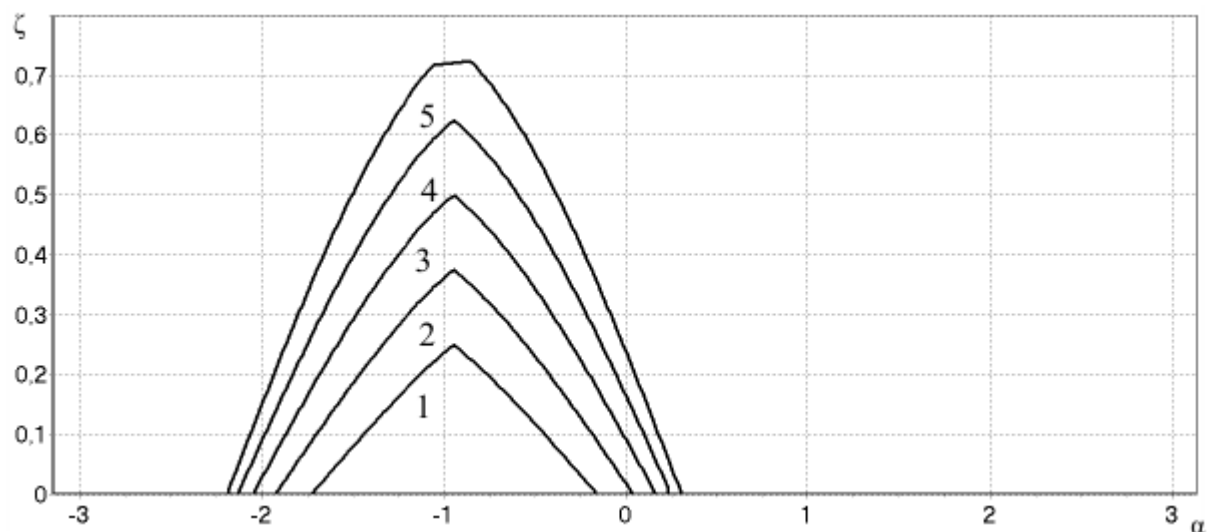


Рисунок 3.14. Відносна відстань ζ в залежності від кута повороту рушія α .

Довжина кроку: 1 - 0,455; 2 - 0,355; 3 - 0,255, 4 - 0,155; 5 - 0,055 м.

Залежно від параметрів машини може існувати діапазон зміни кута α , в якому площа області стійкості досягає нуля, і, отже, статично стійкий рух машини неможливо при будь-якому положенні центру мас і будь-яких значеннях довжини кроку.

При різних кутах α і різних довжинах кроків найкоротша відстань від центру мас до кордонів багатокутника області стійкості визначається різними його гранями. Це впливає на значення кута α , при якому досягається максимальний запас статичної стійкості. У розглянутому прикладі, для довжин кроків від 0,155 до 0,455 м максимальна відносна відстань ζ (Рисунок 3.14, криві 1-4) спостерігається при $\alpha = -0,94$ радіан, а для довжини кроку 0,055 м (Рисунок 3.14, крива 5) - при $\alpha = -0,85$ радіан.

Розроблені методи визначення необхідної кількості і типу приводних модулів дозволяють здійснювати довільний програмний рух корпусу машини, що є основою для автоматичного визначення допустимої ходи і обмежень на рух корпусу машини, пов'язаних із вилученням деяких приводних модулів, і дозволяє вирішувати задачу двохкритеріальної

оптимізації знаходження компромісу між запасом статичної стійкості і кількістю задіяних приводів.

Практична реалізація руху з використанням меншої кількості механізмів, що крокують представляє певні складності, пов'язані з необхідністю контролювати положення центра мас машини щодо опорного багатокутника.

На малюнку 3.15 показані залежності показників відносного запасу статичної стійкості H_1 , певного по потенційній енергії, і кількості відключених приводів H_2 від співвідношення вагових коефіцієнтів цих показників.

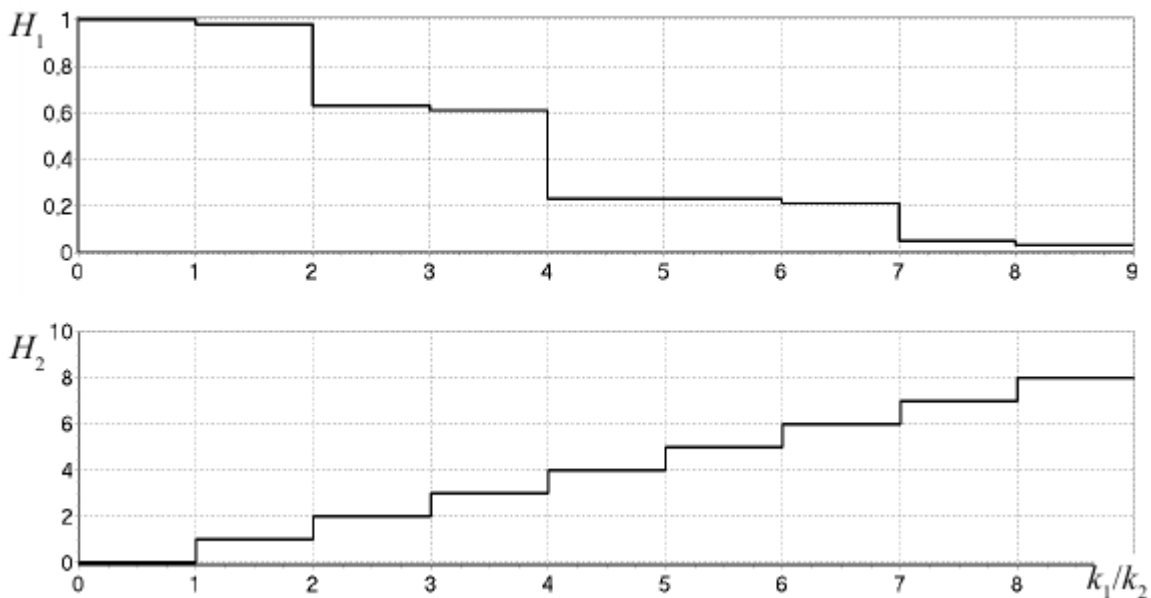


Рисунок 3.15. Зміна показників відносного запасу статичної стійкості H_1 і кількості відключених приводів H_2

Статично стійким рухом називається такий рух машини при якому в кожен момент часу її заморожена конфігурація знаходиться в статичному рівновазі під дією зовнішніх активних сил і реакцій опорної поверхні.

Опорний багатокутник при розгляді просторового руху машини являє собою просторову замкнуту ламану лінію, яка з'єднує опорні точки механізмів крокування, що утворюють в проекції на горизонтальну площину мінімально круглу форму. Деякі з опорних точок механізмів крокування

можуть потрапляти всередину опорного багатокутника, і кількість його вершин I менше або дорівнює N , де N - кількість ніг, знаходяться в опорі.

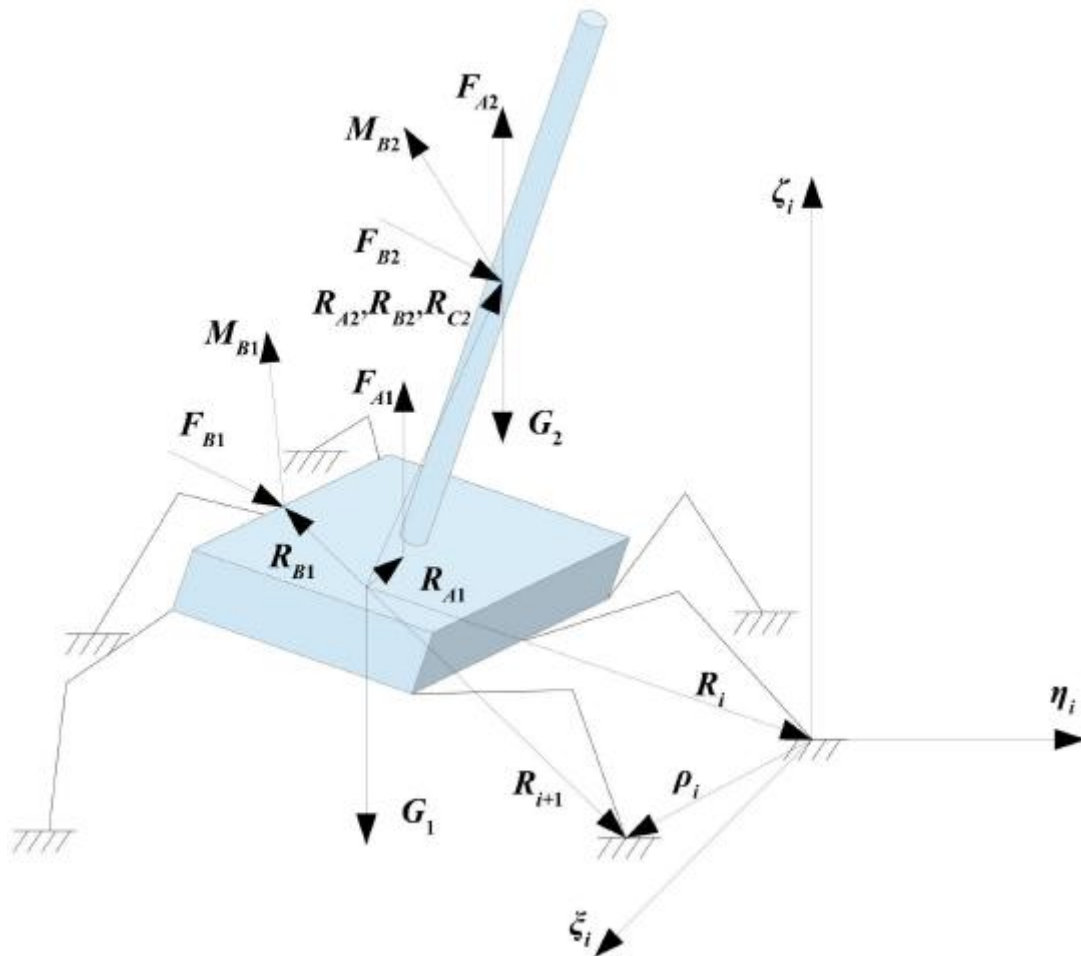


Рисунок 3.16. Розрахункова схема

$$\rho_{i,k} = A \times (-R_i + R_{F,k})$$

Вводиться також радіус-вектор, відповідний межі опорного багатокутника «починається» в i -й точці:

$$\rho_i = A \times \begin{cases} R_{i+1} - R_i, i < I \\ R_1 - R_i, i = I \end{cases}$$

де I - кількість вузлів опорного багатокутника, нумерація яких задається по порядку проти годинникової стрілки якщо дивитися зверху

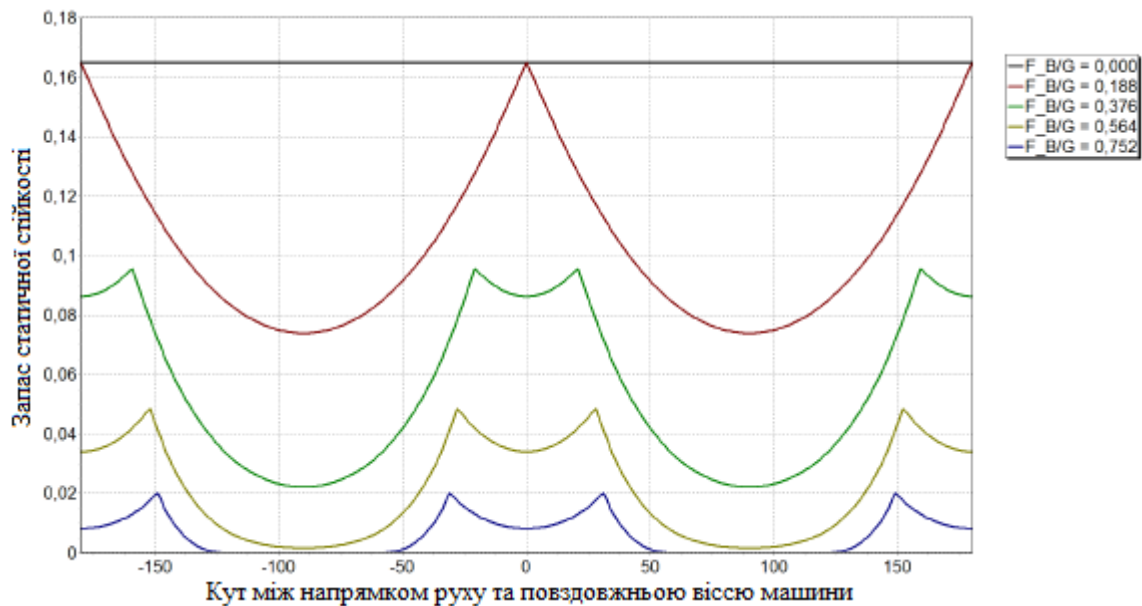


Рисунок 3.17. Запас статичної стійкості для різних навантажень для робота вертикального переміщення з чотирма педипуляторами

Таким чином, розроблено методи багатокритеріальної оптимізації параметрів, структури і алгоритмів керування рухом роботів вертикального переміщення з парними крокуючими рушіями, що дозволяють визначати структуру і параметри крокуючої машини і розробляти алгоритми управління її рухом на етапі проектування і експлуатації.

3.4. Оптимізація режимів технологічних операцій

Розглянемо технологічну операцію свердління робота. В якості вихідних даних використаємо наступні дані:

$F_{\text{техн}} = 30$ Н сила дії інструменту на транспортний модуль;

$K = 1,3$ коефіцієнт запасу;

$\mu = 0,85$ коефіцієнт тертя;

G сила тяжіння;

Робоча зона, що відповідає параметрам робота задається наступним чином:

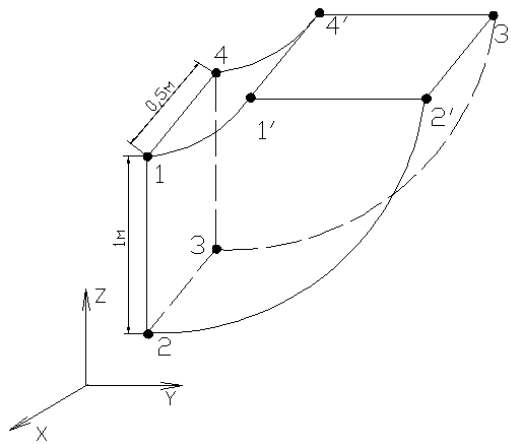


Рисунок 3.18. Робоча зона маніпулятора робота

Система (X_B, Y_B, Z_B) - базова система координат;

(x_0, y_0, z_0) система координат пов'язана з 0-ою ланкою

(x_1, y_1, z_1) система координат пов'язана з 1-ою ланкою

(x_2, y_2, z_2) система координат пов'язана з 2-ою ланкою

(x_{po}, y_{po}, z_{po}) система координат пов'язана з робочим органом.

Рівняння кінематики маніпулятора:

$${}^6T_{po} = {}^6T_i \cdot {}^iT_{po}$$

Визначимо однорідні матриці перетворення для кожної точки позиціонування робочого органу:

1-а позиціонування

$${}^2T_{di} = T_{Y_2, 0,5} \cdot T_{Z_2, 0,25} \cdot T_{X_2, -90^\circ}$$

$${}^1T_2 = T_{X_1, 0,56} \cdot T_{Z_1, 0,05} \cdot T_{X_2, 90^\circ}$$

$${}^0T_1 = T_{X_0, 0,06} \cdot T_{Z_0, 0,05} \cdot T_{Z_1, -90^\circ} \cdot T_{Y_1, -90^\circ}$$

$${}^4T_0 = T_{X_d, -0,28} \cdot T_{Z_d, 0,25} \cdot T_{X_0, 90^\circ} \cdot T_{Z_0, -90^\circ}$$

2-га точка позиціонування

$${}^2T_{\partial i} = T_{Y_2, 0,5} \cdot T_{Z_2, 0,25} \cdot T_{X_2, -90^\circ}$$

$${}^1T_2 = T_{X_1, 0,56} \cdot T_{Z_1, 1,05} \cdot T_{X_2, 90^\circ}$$

$${}^0T_1 = T_{X_0, 0,06} \cdot T_{Z_0, 0,05} \cdot T_{Z_1, -90^\circ} \cdot T_{Y_1, -90^\circ}$$

$${}^aT_0 = T_{X_a, -0,28} \cdot T_{Z_a, 0,25} \cdot T_{X_0, 90^\circ} \cdot T_{Z_0, -90^\circ}$$

3-я точка позиціонування

$${}^2T_{\partial i} = T_{Y_2, 0,5} \cdot T_{Z_2, 0,25} \cdot T_{X_2, -90^\circ}$$

$${}^1T_2 = T_{X_1, 0,56} \cdot T_{Z_1, 1,05} \cdot T_{X_2, 90^\circ}$$

$${}^0T_1 = T_{X_0, 0,06} \cdot T_{Z_0, 0,55} \cdot T_{Z_1, -90^\circ} \cdot T_{Y_1, -90^\circ}$$

$${}^aT_0 = T_{X_a, -0,28} \cdot T_{Z_a, 0,25} \cdot T_{X_0, 90^\circ} \cdot T_{Z_0, -90^\circ}$$

Визначимо мінімальну силу зчеплення

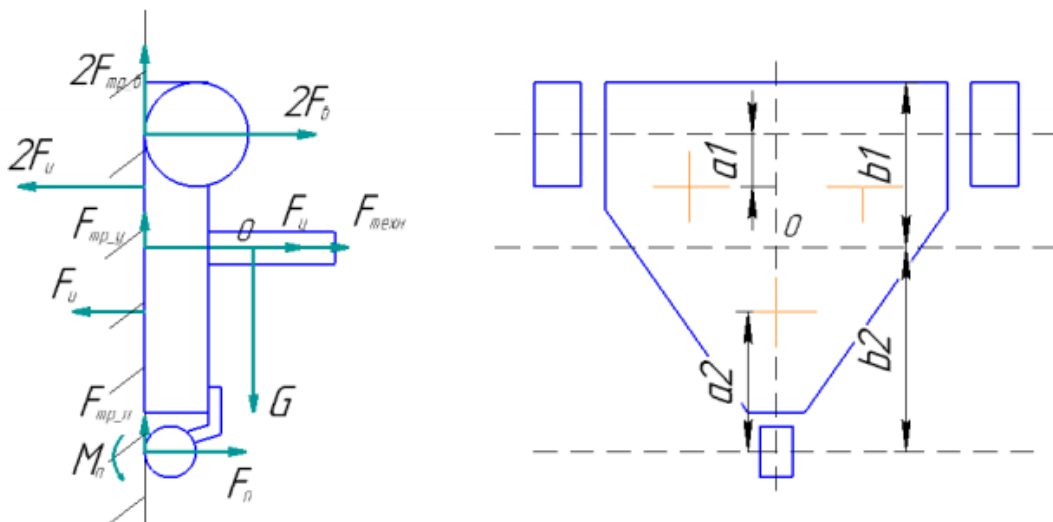


Рисунок 3.19. Розрахункова схема реакції сил і моментів

Запишемо рівняння проекції векторів сил на горизонтальні і вертикальні осі, запишемо суму моментів діючих сил:

$$F_y + F_{\text{техн}} + 2F_v + F_n = 3F_i$$

$$F_{\text{тр}_y} + 2F_{\text{тр}_v} + F_{\text{тр}_n} = G$$

$$2F_v(b_1 + b_2) + (F_y + F_{\text{техн}})b_2 + Gh \leq F_i a_2 + 2F_i(b_2 + b_1 - a_1)$$

де,

F_y сила реакції опори щіткового ущільнення;

$F_{\text{в}}$ сила реакції опори ведучого маніпулятора;

$F_{\text{п}}$ сила реакції опори пасивного маніпулятора;

F_i сила зчеплення;

$F_{\text{тр}_y}$ сила тертя щіткового ущільнення;

$F_{\text{тр}_\text{в}}$ сила тертя ведучого маніпулятора;

$F_{\text{тр}_\text{п}}$ сила тертя пасивного маніпулятора;

b_1, b_2, a_2, a_1 геометричні розміри.

Нехтуючи вторинними факторами, вважаємо, що тільки сила тертя ковзання ведучого маніпулятора є силою, що врівноважує силу тяжіння:

$$G = 2F_{\text{тр}_\text{в}}$$

Для безпечного зчеплення робота в максимальному статичному терті введемо коефіцієнт запасу K :

$$2\mu F_{\text{в}} = KG$$

де μ коефіцієнт тертя між маніпулятором і стіною.

Знайдемо силу зчеплення через нерівність сили моментів

$$F_{i \min} = \frac{KG/\mu(b_1 + b_2) + (F_y + F_{\text{техн}})b_2 + Gh}{a_2 + 2(b_2 + b_1 - a_1)} = 136H$$

В результаті аналізу було знайдено мінімальна сила зчеплення для утримання робота на поверхні і роботи технологічного модуля (свердління).

Висновки до розділу

В даному розділі було проведено оптимізацію алгоритмів та законів управління режимами технологічних операцій. В результаті проведення моделювання було отримано графік залежності статичної стійкості від різних кутів між напрямком руху та повздовжньою віссю робота вертикального переміщення.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1. Аналіз вимог до програмного продукту

Основною метою є розробка ПЗ для проведення оптимізації параметрів робіт вертикального переміщення за описаним вище алгоритмом. Даний модуль має являти собою самостійний програмний продукт, що може бути інтегровано до складу іншої САПР.

Відповідно до завдання також існують наступні вимоги до рівня стандартизації програмного продукту: розробляється з урахуванням можливості застосування на робочу місці проектувальника під управлінням ОС Windows; використовуються стандартні програмні засоби, тобто програмні рішення та бібліотеки, що інтегровані в дану операційну систему.

4.2. Розробка алгоритму та вибір середовища

Виходячи з описаних вимог, для розробки програмного продукту було обрано мову програмування C# та середовищі .NET. Екранні форми розроблятимуться на основі API Windows Forms.

Однією з основних переваг платформи є те, що на один комп'ютер може бути встановлено декілька її версій. Кожна з них може співіснувати іншими. Зазвичай можна використовувати останню версію для запуску додатків, створених в більш ранніх платформах.

Отже, використання платформи .NET забезпечуватиме роботу розроблюваного програмного продукту на всіх комп'ютерах під управлінням ОС Windows, адже дана платформа входить до набору стандартних програмних засобів операційної системи.

Наступним кроком розробки програмного продукту є побудова блок-схеми алгоритму. Це дає змогу наочно продемонструвати послідовність основних дій та умовних переходів, що ведуть до виконання поставленої задачі. Розроблено блок-схему алгоритму, яка представлена в додатку А.

4.3. Опис програмного продукту

На основі програмного алгоритму, розробленого в підрозділі 4.3, створено програмний продукт, що складається з бібліотеки функцій та графічного інтерфейсу користувача, що відповідає вимогам, описаним в підрозділі 4.1.

Програмний продукт є класичним додатком Win32. До складу додатку входить власний модуль, що реалізує методику розрахунку. Екранні форми для введення та виведення інформації реалізовані з використанням стандартних програмних засобів – Windows Forms. Для зручного розгортання програмного продукту створено інсталятор InstallShield, який в автоматичному режимі встановлює програмний продукт, в разі необхідності завантажує додаткові компоненти та реєструє виконані зміни в ОС.

The screenshot shows a Windows-style dialog box with a title bar. Inside, there's a large text input field at the top containing a complex mathematical expression for Z. Below this, there are two columns of constraints. The left column, labeled 'Обмеження явні' (Explicit constraints), shows ranges for variables a, b, and c. The right column, labeled 'Обмеження не явні' (Implicit constraints), shows inequalities for x1, x2, and x3. At the bottom left, there are four rows of results labeled Y1 through Y4 with their corresponding numerical values. In the center bottom, there are two buttons: 'Розрахувати' (Calculate) and 'Вихід' (Exit). To the right of these buttons, there's a label 'Максимум функції при значенні змінних' (Maximum of the function at the values of the variables) followed by a numerical result.

Рисунок 4.1. Основне діалогове вікно

Бібліотека функцій програмного продукту є універсальним модулем, та може бути застосована як самостійно так і в складі інших систем для оптимізації параметрів робіт вертикального переміщення.

Графічний інтерфейс програмного продукту складається з декількох діалогових вікон. Основне вікно, що містить інтерфейс для розрахунку, має наступний вигляд:

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1. Опис ідеї проекту

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Оптимізація режимів технологічних операцій роботів вертикального переміщення	1. Підвищення ефективності роботи роботів за рахунок оптимізації	Максимально ефективне використання робота при даних технічних параметрах
	2. Раціональний вибір технічних характеристик робота	Зниження вартості вироблення робота за рахунок вибору параметрів для вирішення конкретно поставленої задачі

Конкурентами є існуючі конструкції роботів вертикального переміщення. Основною відмінністю є те, що конструктивні параметри робота виведено на новий перспективний рівень із підвищеною ефективність виконання технологічних операцій. зі зменшенням негативного впливу на людину та збільшенням точності спрямування.

Довгостроковими перспективами є:

- Збільшення кількості клієнтів, що будуть використовувати запропонований метод оптимізації
- Вдосконалення існуючих роботів за рахунок застосування нового методу оптимізації

Потреби в стартовому фінансуванні:

Стартовий капітал – 80000 грн

Таблиця 5.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ /п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W	N	S
		Проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
1.	Бюджетне фінансування	розробка за рахунок розробника	бюджетне фінансування	розробка комерційна	розробка за рахунок розробника	відсутність фінансування	часткова бюджетне фінансування	бюджетне фінансування
2.	Використання сучасної техніки	використовується сучасна техніка	використовується застаріла техніка	використовується техніка застарілої конфігурації	використовується сучасна техніка	сучасна комплектація технікою	часткова комплектація технікою	техніка застарілої конфігурації
3.	Належна матеріально-технічна база	розробка проводиться за власні кошти на приватному ПК	бюджетна установа	інформаційний центр	інформаційний центр	інформаційний центр	бюджетна установа	власні кошти на приватному ПК

Продовження таблиці 5.2

4.	Налагоджена система реклами продукту	продукт не рекламується	є реклама	продукт не рекламується	є реклама	не має реклами	часткова реклама	рекламується
5.	Високий рівень розробки	запропоновані методи та алгоритми є досконалыми	розробко не досконала та потребує доробок	запропоновані методи та алгоритми є досконалыми	розробко не досконала та потребує доробок	розробко не досконала та потребує доробок	розробко є майже досконалою	запропоновані методи та алгоритми є досконалыми
6.	Професіонали програмісти	розробка проводилася студентом	розробка проводилася групою професіоналів	розробка проводилася професіоналом програмістом	розробка проводилася професіоналом програмістом	розробка проводилася студентом	розробка проводилася професіоналом програмістом	розробка проводилася групою професіоналів

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (табл. 4.3):

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/доробити?
- чи доступні такі технології авторам проекту?

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Дослідження особливостей формування модулю керування педіпуляторами крокуючих роботів	Технологія 1 (технологія надання послуги)	потрібно розробити	доступні
2		Технологія 2 (наявність бази досліджень)	наявні	доступні
3		Технологія 3 (база проведення досліджень (випробувань))	потрібно розробити	доступні
4		Технологія 4 (оформлення результатів дослідження)	потрібно розробити	доступні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: є можливою				

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Таблиця 5.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/ п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	120 000 ум.од
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	не має
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ В 7371:2013 ДСТУ ISO 9000-2007 (ISO 9000:2005, IDT) ДСТУ ITU-T G.957:2010
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	35

На основі проведеного дослідження є можливість стверджувати про привабливість проекту «Оптимізація режимів технологічних операцій роботів вертикального переміщення» для входження на ринок за попереднім оцінюванням.

Таблиця 5.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Дослідження особливостей формування параметрів модулю керування педіпуляторами крокуючих роботів	Промислові центри, кафедра програмної інженерії	формування параметрів процесу керування педіпуляторами крокуючих роботів – програмісти, промислові робітники; зниження рівня впливу – люди користувачі, реалізатори проекту	Відповідність ДСТУ EN 775:2005. Обов'язкова наявність сертифікатів

Таблиця 5.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Агресивність конкурентів	вплив на систему	може порушити налагоджену систему розповсюдження
2	Нестабільність політичної ситуації в світі	балансування курсу	може порушити надійну систему постачальників
3	Висока вартість продукції	підвищення ціни	підвищить агресивність конкурентів
4	Економічні складності	відсутність фінансування	порушили фінансове забезпечення компанії

Таблиця 5.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Тривале існування	тривале існування на ринку	на ринку дає можливість виходу на нові ринки
2	Моніторинг потреб споживачів	розуміючи потреби споживачів, розширювати діапазон продукції.	розширення діапазону продукції, що випускається.
3	Лібералізація торговельних бар'єрів	робота менеджменту	призведе до поліпшення налагодженої системи розповсюдження
4	Висока вартість продукції в порівнянні з конкурентами	встановлення високої ціни	утруднить вихід на нові ринки
5	Стабілізація бізнес-середовища	формування стабільного середовища	за рахунок стабілізації бізнес-середовища можна поліпшити фінансове забезпечення компанії

Таблиця 5.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - монополія/олігополія/ монополістична/чиста	Локальний/національний бізнес. Глобальні сили є не досить вагомими по відношенню до локальних, які визначаються наявністю сертифікації, відповідності держ нормам і стандартам	працює в рамках оптимізації режимів технологічних операцій РВП

Продовження таблиці 5.8

2. За рівнем конкурентної боротьби- локальний/національний/...	Локальний	Ведучи конкуренцію на локальному рівні, компанії необхідно прикласти належні зусилля для охоплення всього ринку
3. За галузевою ознакою - міжгалузева/ внутрішньогалузева	Внутрішньогалузева. Конкуренція на ринку ведеться в робототехнічній галузі України	Необхідно зосередити зусилля на пошуку конкурентних переваг, які дозволять компанії займати стійкі конкурентні позиції
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова - товарно-видова - між бажаннями	Товарно-родова. Конкуренція на рівні технології задоволення потреб. Існує конкуренція з іншими моделями, алгоритмами	ведеться конкурентна боротьба як з товарами-субститутами
5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова	Нецінова. При виборі алгоритмів та методів споживач звертає увагу на ефективність оптимізації параметрів та досконалість рішення Цінова. Для значної частки споживачів ціна є визначальною при виборі.	Головною конкурентною перевагою є унікальність позиціонування
6. За інтенсивністю-марочна/не марочна	Марочна.	Диференціація методів та моделей за мотивом задоволення потреб споживачів

Таблиця 5.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу		Висновки
Прямі конкуренти в галузі	Навести перелік прямих конкурентів	На ринку спостерігається тенденція до скорочення кількості робототехнічних установ і посилення конкуренції на ринку. Вступ України до СОТ відкрив дорогу іноземним виробникам. Великі компанії з іноземним капіталом постійно збільшують контрольовану ними частку ринку, поглинаючи конкурентів.
Потенційні конкуренти	Визначити бар'єри входження в ринок	Бар'єри входу на ринок є порівняно незначними. Вартість організації бізнесу з виробництва сучасних мобільних крокуючих роботів 400 тис. дол. Обов'язковою є сертифікація продукції.
Постачальники	Визначити фактори сили постачальників	Існує чітка залежність від постачальників як якості продукції. Також ціна кінцевої продукції залежить від рівня сертифікації.
Клієнти	Визначити фактори сили споживачів	Споживачі мають широку географію і прив'язана переважно до складських приміщень. Також потенційно можуть зацікавитись військові структури.
Товари-замінники	Фактори загроз з боку замінників	Посилюється конкуренція зі сторони товарів субститутів – інших постачальних мобільних роботів вертикального переміщення за рахунок збільшення асортименту останніх та появи нових для ринку категорій, а також загального розвитку технологій та можливостей для серійного виробництва такої продукції.

Отже, відповідно до наведеного вище аналізу головними силами, які діють на конкуренцію в галузі є постачальники та споживачі. Також через розвиток ринку все більшого значення набуває інтенсивність конкуренції між існуючими конкурентами та загроза зі сторони товарів-субститутів.

Таким чином в межах структурного підходу до аналізу конкуренції тип конкуренції – монополістична конкуренція.

Таблиця 5.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування вибору
1	Частка ринку	Враховуючи той факт, що тип родового середовища в галузі – консолідований ринок, тобто існує група компаній, які контролюють разом понад 80% ринку, а також те, що інтенсивність суперництва між діючими конкурентами при низьких темпах зростання ринку є однією з головних сил, які діють на конкуренцію в галузі, одним з найважливіших факторів конкурентоспроможності виступає частка ринку, яку займає виробник.
2	Ціна	Чим вигіднішою є ціна для споживача, тим вірогідніше його вибір.
3	Асортимент	В умовах збільшення інтенсивності між існуючими конкурентами завоювання споживачів відбувається за рахунок нових технічних можливостей та досконалості технічних рішень, що застосовуються в роботі.
4	Доступ до каналів розподілу	Споживач далеко не завжди проявляє прихильність до певної категорії розробників і дуже схильний до експериментів. В цьому випадку завоювати лояльність споживача дуже складно і ще складніше її утримати. Тому для компаній-виробників ключовими чинниками успіху стає сильна дистрибуція, якісний торговий маркетинг і налагоджена система логістики.
5	Торговий маркетинг	
6	Рівень диференціації ТМ	В умовах ведення конкурентної боротьби на споживчому ринку, де попит є ірраціональним та існує велика кількість виробників і розробників при фактично відсутній різниці між товарами, що пропонуються, ключовим фактором успіху є здатність чітко диференціювати ТМ від ТМ конкурентів, надаючи споживачеві унікальну цінність.

Продовження таблиці 5.10

7	Репутація виробника	Якщо компанія має бездоганну репутацію, особливо у сфері якості своєї продукції, то рівень довіри до неї зростає. Також репутація виробника важлива при виході на ринок з новими товарами, або при виході на нові сегменти, що полегшує позитивне сприйняття новинок.
8	Рівень лояльності до бренду	Чим вище рівень лояльності, тим більше компанія має прихильних, а значить постійних споживачів.
9	Унікальність позиціонування	В умовах монополістичної конкуренції, коли фактор диференціації ТМ є ключовим засобом ведення конкурентної боротьби, важливим є створення та підтримання унікального позиціонування, що створює певний захист від конкурентних зіткнень.
10	Маркетинговий бюджет	Від розміру маркетингового бюджету залежить здатність здійснювати маркетингову стратегію підприємства. Маркетингові заходи мають забезпечувати інші конкурентні переваги такі, як рівень диференціації, лояльності, репутація виробника, дистрибуція та просування в торгових точках.

Таблиця 5.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін
«Алгоритми управління стійкістю крокуючого робота»

№	Фактор конкурентоспроможності	Вагові значення фактора (1-20)	Рейтинг конкурентів у порівнянні з дослідженням особливостей формування модулю керування педипуляторами крокуючих роботів						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Частка ринку	20		1		2	3		

Продовження таблиці 5.11

2	Ціна	10	2	1	3				
3	Асортимент	18			1	3	2		
4	Доступ до каналів розподілу	15			2		1	3	
5	Торговий маркетинг	15	1	2		3			
6	Рівень диференціації ТМ	13			3		1		2
7	Репутація виробника	12			3		2	1	
8	Рівень лояльності до бренду	14		3			2		1
9	Унікальність позиціонування	15		2		3		1	2
10	Маркетинговий бюджет	10			2		3	1	

Отже, відповідно до проведеного аналізу можна сказати, що «Роботи вертикального переміщення» має наступну позицію на ринку:

сильні сторони:

- унікальне позиціонування;
- значний рівень диференціації ТМ;
- позитивна репутація виробника;

слабкі сторони:

- вища ціна порівняно з конкурентами;
- торговий маркетинг.

Виділивши найвагоміші сильні та слабкі сторони «Роботи вертикального переміщення» у порівнянні з основними конкурентами і з аналізу внутрішніх факторів та використовуючи результати аналізу маркетингових загроз та можливостей, складемо матрицю SWOT-аналізу (табл. 4.12.).

З результатів SWOT-аналізу видно, що найбільш негативний вплив на «Роботи вертикального переміщення» на ринку чинить ринкове середовище. Це, перш за все, пов'язано із наслідками фінансово-економічної кризи в країні.

В свою чергу, така ситуація супроводжувалася зменшенням темпів приросту галузі, виходом з ринку менш сильних дрібних та регіональних виробників, приходом на ринок транснаціональних компаній, що збільшило інтенсивність конкуренції між діючими учасниками ринку України.

Таблиця 5.12. SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ol style="list-style-type: none"> 1. унікальне позиціонування; 2. значний рівень диференціації 3. позитивна репутація виробника; 4. приналежність до української міжнародної компанії; 5. налагоджена система дистрибуції товару; 6. наявність вертикальної інтеграції. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. вища ціна порівняно з конкурентами. 2. залежність маркетингової політики від українського власника; 3. слабе самозабезпечення фінансовими ресурсами; 4. відсутність чітко вираженої маркетингової стратегії, непослідовність в її реалізації.
Можливості	Загрози
<ol style="list-style-type: none"> 1. Можливість зміцнення іміджу 2. Можливість збільшення обсягів реалізації 3. Можливість збільшення обсягів продаж за рахунок експансії в регіони 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Загроза працювати без прибутку скорочення платоспроможного попиту 2. Загроза втрати споживачів внаслідок підвищення тиску зі сторони товарів-субститутів 3. Загроза підвищення цін

Було визначено, що найбільшою загрозою для «Модуль керування педіпуляторами крокуючих роботів» є загроза падіння прибутковості внаслідок скорочення попиту.

Таблиця 5.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Використання засобів стимулювання збуту та мерчандайзингу в торгових точках для збільшення продаж	Дозволяє суттєво збільшити обсяги продаж	до місяця
2.	Розширення асортиментної лінійки	Можливість залучення нових споживачів за рахунок новинки	до пів року

Отже, найоптимальнішою є перша альтернатива

5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл.5.14).

Таблиця 5.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
-------	--	---	---	--------------------------------------	--------------------------

Продовження таблиці 5.14

1	Підвищення ефективності застосування апаратури	готовий	високий	мінімальна	простий
2	Оптимізація вихідних параметрів РВП	готовий	високий	максимальна	простий
3	Раціональний вибір технічних характеристик апаратури і науково-обґрунтованого вибору параметрів впливу	готовий	високий	середня	простий

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) обрано стратегію диференційованого маркетингу.

Таблиця 5.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
-------	--------------------------------------	---------------------------	--	----------------------------

Продовження таблиці 5.15

1	Стратегія диференціації	передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів. Така відмінність може базуватися на об'єктивних або суб'єктивних, відчутних і невідчутних властивостях товару(у ширшому розумінні – комплексі маркетингу), бути реальною або уявною.	Реалізація цієї стратегії вимагає, як правило, більш високих витрат. Проте успішна диференціація дозволяє компанії домогтись більшої рентабельності за рахунок того, що ринок готовий прийняти більш високу ціну (цінову премію бренду).	Інструментом реалізації стратегії диференціації є ринкове позиціонування.
---	-------------------------	---	--	---

Таблиця 5.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Ні	Як залучати нових так і забирати існуючих у конкурентів	частково	наслідування лідеру

Таблиця 5.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Відповідність чинним нормативам	Наслідкування лідеру	Реалізація цієї стратегії вимагає, як правило, більш високих витрат. Проте успішна диференціація дозволяє компанії домогтись більшої рентабельності за рахунок того, що ринок готовий прийняти більш високу ціну (цінову премію бренду).	Унікальність Доступна ціна Реалізація нових методів

4.5 Розроблення маркетингової програми

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у табл. 4.18 підсумовуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Підвищення ефективності	Нові механізми застосування	високий рівень ефективності застосування

	застосування апаратури	РВП	РВП
--	------------------------	-----	-----

Продовження таблиці 5.18

2.	Оптимізація режимів роботи РВП вихідних	Продуктивність застосування РВП	високий рівень продуктивності РВП
3.	Раціональний вибір технічних характеристик для вирішення коректного спектру задач	Зниження вартості застосування РВП	Стійкість застосування РВП

Таблиця 5.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Опис базової потреби споживача, яку задовольняє товар (згідно концепції), її основної функціональної вигоди		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	Нові механізми застосування Продуктивність застосування Зниження вартості застосування модулю		
	Марка: Підвищення ефективності застосування		
III. Товар із підкріпленням	До продажу – рівень розробки		
	Після продажу – низка методів та алгоритмів		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: захист інтелектуальної власності			

Таблиця 5.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники, дол	Рівень цін на товари-аналоги, дол	Рівень доходів цільової групи споживачів, дол	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу, дол
	5000	2500	6000	2000-5000

Таблиця 5.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Мінімальна кількість посередників	організовувати широку мережу збуту товару	3	непряма

Таблиця 5.22. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Підвищення ефективності застосування РВП	промислова сфера	Нові механізми застосування РВП	донести переваги до потенційних користувачів	Основна ідея Дослідження можливостей РВП
2	Оптимізація вихідних параметрів РВП	промислова сфера	Продуктивність застосування РВП	донести переваги до потенційних користувачів	

Продовження таблиці 5.22

3	Раціональний вибір технічних характеристик для вирішення коректного спектру задач	промислова сфера	Зниження вартості застосування РВП	донести переваги до потенційних користувачів	
---	---	------------------	------------------------------------	--	--

Висновки по розділу

В умовах розділу проведено аналіз та розробку бізнес-проекту до розробки «Оптимізація режимів технологічних операцій роботів вертикального переміщення», на основі проведеного аналізу варто відзначити, що найбільш негативний вплив на розглянутий продукт на ринку чинить ринкове середовище. Це, перш за все, пов'язано із наслідками фінансово-економічної кризи в країні а також недостатньо високу поникність технології роботів вертикального переміщення на ринку як такої. За результатами аналізу можна відзначити, що найбільшу загрозу становить монополізація ринку існуючими гравцями, які мають вагомі переваги та відносно високу лояльність до бренду а також широкий асортимент продукції. Реалізація проекту є доцільною лише у випадку значних фінансових та часових інвестицій. Розвитку проекту може допомогти точкове позиціонування РВП та пошук крупного замовника даного рішень під конкретну методику.

ВИСНОВКИ

У рамках даної роботи здійснено багатокритеріальну оптимізацію параметрів, структури і алгоритмів операцій роботів вертикального переміщення.

Особливістю роботів вертикального переміщення, що розглядаються у межах даної дипломної роботи є використання педіпуляторів, що підвищують універсальність робота а такж можливість подолання перешкод.

Переваги крокуючих машин визначаються в першу чергу потенційно більш високою прохідністю, маневреністю і кращими екологічними властивостями в порівнянні з машинами, що використовують традиційні типи рушіїв. А основні недоліки крокуючих машин пов'язані зі складністю конструкції і системи управління, а також невеликою швидкістю пересування.

В процесі виконання роботи запропоновано і обґрунтовано систему показників якості крокуючих машин, що дозволяє оцінювати якість роботів вертикального переміщення і формувати загальний критерій якості при вирішенні задач багатокритеріальної оптимізації.

На основі системи показників якості побудована функція механічного стану роботів вертикального переміщення, що дозволяє знаходити оптимальні закони управління методами варіаційного обчислення.

Розроблено теоретико-механічні моделі роботів вертикального переміщення, що дозволяють здійснювати розрахунок динаміки руху машин, обчислювати показники якості, здійснювати оптимізацію структури, параметрів і алгоритмів управління.

Розроблено методи багатокритеріальної оптимізації параметрів, структури і алгоритмів операцій роботів вертикального переміщення, що дозволяють визначати структуру і параметри роботів вертикального переміщення і розробляти алгоритми управління їх рухом на етапі проектування і експлуатації.

В результаті розроблено програмний продукт, що дозволяє застосувати описану методику для оптимізації параметрів у конкретній задачі.

Запропонована методика оптимізації режимів технологічних робіт вертикального переміщення дозволяє підвищити ефективність крокуючих робіт, що веде до зменшення вартості виробництва та підвищення продуктивності при виконанні технологічних операцій

Отримані результати можуть бути застосовані при проектування та виробництві нових конструкцій та моделей крокуючих робіт.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Андрієнко В.О., Бондаренко М.О РОБОТОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ В ТЕХНІЧНІЙ ОСВІТІ [Текст]. Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці» (ІТОНТ-2018): Черкаси, 17-18 травня 2018 р.
2. Белзецький Р. С. Робототехніка як інструмент сучасної технічної освіти. Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 22-24 березня 2017 р.
3. Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов, Москва.: Академия, 2007.
4. Василенко Н.В. Основы робототехники, Томск: Раско, 1993.
5. Васильев. В.Н. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы, Москва: Высш. шк., 1989.
6. Жиденко И., Кутлубаев И. Методика определения сигналов управления антропоморфным манипулятором. Мехатроника. Автоматизация. Управление: теоретический и прикладной научно-технический журнал, Москва, 2014.
7. Кулаков Б.Б., Кулаков Д.Б., Беляев В.В. Антропоморфные роботы как новая сфера применения Аидроприводов. Инженерный журнал: наука и инновации, 2013, URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/hydro/682.html> (Дата обращения: 17.08.2018).
8. Мордовченко Д.Д., Станкевич Л.А., Яковлев А.В. Опыт разработки антропоморфных роботов и программ-агентов по футболу роботов на фирме «Новая ЭРА», Санкт-Петербург. Тезисы доклада на семинаре «Робототехника и мехатроника», Москва: «Новые технологии», 2004.
9. А. А. Богданов, В. Б. Сычков, И. Г. Жиденко, И. М. Кутлубаев, Обоснование выбора структурной схемы роботов космического исполнения

// Решетневские чтения : материалы XVII междунар. науч. конф. (12-14 ноября 2013, г. Красноярск), 2013.

10. Подалов, М. А., Разработка шагающего робота с обратной связью на базе платформы ARDUINO. Наукові записки. – Випуск 9 Частина 1. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти, Кіровоград 2016. С. 233-239.

11. А. А. Богданов, В. Б. Сычков, И. Г. Жиденко, И. М. Кутлубаев. Создание и исследование робототехнической системы с интерактивным управлением. Решетневские чтения : материалы XVI междунар. науч. конф. (7-9 ноября 2012, г. Красноярск). Красноярск, 2012.

12. Сосніна А. Штучний інтелект як наука та технологія створення інтелектуальних роботів. 2016. URL: <http://naub.oa.edu.ua/2013/shtuchnyj-intelekt-yak-nauka-ta-tehnolohiyastvorennya-intelektualnyh-robotiv/>.

13. Станкевич Л.А., Тихомиров В.В. Управление устойчивой походкой антропоморфного робота. Труды XIV НТК «Экстремальная робототехника». СПб.: СПбГТУ, 2003.

14. Сухоручкіна, О. М. Інформаційне забезпечення інтелектуалізованих робототехнічних комплексів. Стан та перспективи розвитку інформатики в Україні. Київ.: Наукова думка, 2010.

15. Фокин В. Г. Обзор и перспективы развития мобильных шагающих робототехнических систем. Молодой ученый. 2015. – №18

16. Фокин В. Г., Шаныгин С. В. Структура системы управления шестиногого шагающего робота Гексабот. Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2016. №5. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/10TVN516.pdf>

17. Шеломенцев Е. Е. , Александрова Т. В. , Курганов С. М. Система активного управления податливостью антропоморфного робота. Перспективные системы и задачи управления: материалы Одиннадцатой Всероссийской научно-практической конференции и Седьмой молодежной

школы-семинара "Управление и обработка информации в технических системах", (Ростов-на-Дону, 4-8 Апреля 2016). Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2016.

18. Поліщук М.М. Принципи синтезу мобільних роботів. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Технічні науки. 2018. Том 29 (68) № 5. С.1–8.

19. Polishchuk M.N. Modernization of the vacuum gripper of the mobile walking robot. NTUU "Igor Sikorsky KPI". Mechanics and Advanced Technologies No. 2 (80). 2017. – pp. 59–64.

20. Поліщук М. Н. Мобильный шагающий робот. Технические науки: проблемы и решения, сб. ст. за матеріалами XII міжнар. наук.–практ. конф. Москва: "Інтернаука", 2018. – №6. – с 50 – 54.

21. Поліщук М.М., Писаренко С.Г. Система управління мобільним роботом з підвищеним ступенем інтелектуальності. – Науковий журнал "ЛОГОС. Мистецтво наукової думки" – Вінниця, 2019. – №3– с. 101–103

22. Писаренко С.Г. Багатокритеріальна оптимізація в задачах управління мобільним роботом. – "Інтернаука" – Москва, 2019. – №4

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Лістинг коду

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Windows.Forms;
using System.Globalization;
using NCalc;
using System.Text.RegularExpressions;

namespace SAPRmodule
{
    public partial class MainForm : Form
    {
        CultureInfo cultureInfo =
        CultureInfo.CreateSpecificCulture("uk-UA");

        Dictionary<String, Double> V = new Dictionary<String,
        Double>();

        public MainForm()
        {
            InitializeComponent();

            rtbMethod.Rtf = Properties.Resources.method;
            pictureBox1.Image = Properties.Resources.img1;

            List<TextBox> TextBoxesInput =
            groupBox1.Controls.OfType<TextBox>().ToList();
            List<TextBox> TextBoxesFormulae =
            groupBox3.Controls.OfType<TextBox>().ToList();

            foreach (var tb in
            TextBoxesInput.Concat(TextBoxesFormulae))
            {
                tb.TextChanged += (sender, e) =>
                {
                    var _tb = sender as TextBox;
                    _tb.BackColor = Color.White;
                    processData();
                };
            }

            foreach (var tb in TextBoxesInput)
            {
                if (tb.Name == "textBox_n")
                {
                    tb.KeyPress += (sender, e) =>
                    {

```

```

        if (!Regex.IsMatch(e.KeyChar.ToString(), @"[0-
9\b]"))
            e.Handled = true;
    };
}
else
{
    tb.KeyPress += (sender, e) =>
    {
        if (!Regex.IsMatch(e.KeyChar.ToString(), @"[0-
9.,\b]"))
            e.Handled = true;
    };
}

foreach (var tb in TextBoxesFormulae)
{
    tb.KeyPress += (sender, e) =>
    {
        const string dict = @"[A-Za-z0-9,.\+\\-
\*\\/\(\)\s\b\x01\x03\x16\x18\x1A]";
        if (!Regex.IsMatch(e.KeyChar.ToString(), dict))
            e.Handled = true;
    };
}

foreach (var v in ValuesConfig)
{
    var label = groupBox1.Controls.Find(("label_" +
v.Key).ToString(), true).Cast<Label>().First();
    var min = v.Value.Split(';')[0];
    var max = v.Value.Split(';')[1];
    var units = v.Value.Split(';')[2];
    label.Text = String.Format(label.Text, min, max,
units);
}

fillFormulas();
}

void fillFormulas()
{
    foreach (var f in FormulasConfig)
    {
        var tb = groupBox3.Controls.Find(("textBox_formulae_"
+ f.Key).ToString(), true).Cast<TextBox>().First();
        tb.Text = f.Value.Split(';')[0];
    }
}

```

```

bool ReadInputData()
{
    V = new Dictionary<string, double>();
    var isCorrect = true;

    foreach (var v in ValuesConfig)
    {
        V[v.Key] = 0;
        var tb = groupBox1.Controls.Find("textBox_" +
v.Key).ToString(), true).Cast<TextBox>().First();
        try
        {
            var str = tb.Text.Replace(".", ",");

            if (str == "")
            {
                isCorrect = false;
                continue;
            }

            var val = Double.Parse(str, NumberStyles.Number,
cultureInfo);
            var min = Double.Parse(v.Value.Split(';')[0],
NumberStyles.Number, cultureInfo);
            var max = Double.Parse(v.Value.Split(';')[1],
NumberStyles.Number, cultureInfo);
            var mlt = Double.Parse(v.Value.Split(';')[3],
NumberStyles.Number, cultureInfo);

            var isInRange = val >= min && val <= max;
            if (!isInRange)
                throw new Exception();
            else
                V[v.Key] = val * mlt;
        }
        catch
        {
            isCorrect = false;
            tb.BackColor = Color.FromArgb(255, 82, 76);
        }
    }

    return isCorrect;
}

void Calculate(bool inputDataIsCorrect = true)
{
    var isCorrect = true;
    V.Add("PI", Math.PI);
}

```

```

        var TextBoxesExpression =
groupBox3.Controls.OfType<TextBox>().ToList();
        foreach (var tb in TextBoxesExpression)
        {
            tb.BackColor = Color.White;

            var name = tb.Name.Split('_').Last();
            var label = groupBox2.Controls.Find(("ResultLabel_" +
name).ToString(), true).Cast<Label>().First();
            var expression = tb.Text == "" ? "0" : tb.Text;
            var config = FormulasConfig[name].Split(';');
            var mlt = config[2] == "" ? 1 :
Double.Parse(config[2], NumberStyles.Number, cultureInfo);
            double result = 0;
            V[name] = result;

            try
            {
                Expression expr = new Expression(expression);
                foreach (var v in V)
                    expr.Parameters[v.Key] = v.Value;

                result = Double.Parse(expr.Evaluate().ToString())
* mlt;
            }
            catch
            {
                isCorrect = false;
                tb.BackColor = Color.FromArgb(255, 82, 76);
            }

            if (!isCorrect || !inputDataIsCorrect)
                continue;

            label.Text = String.Format(
                "{0} = {1:0.000} {2}",
                name,
                Double.IsNaN(result) || Double.IsInfinity(result)
? 0 : result,
                config[1]
            );

            V[name] = result;
        }
    }

    void processData()
    {
        bool inputDataIsCorrect = ReadInputData();
        Calculate(inputDataIsCorrect);
    }

```

```

        private void buttonCalculate_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            processData();
        }

        private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            fillFormulas();
        }
    }
}

```

```

namespace SAPRmodule
{
    partial class MainForm
    {
        /// <summary>
        /// Required designer variable.
        /// </summary>
        private System.ComponentModel.IContainer components = null;

        /// <summary>
        /// Clean up any resources being used.
        /// </summary>
        /// <param name="disposing">true if managed resources should
be disposed; otherwise, false.</param>
        protected override void Dispose(bool disposing)
        {
            if (disposing && (components != null))
            {
                components.Dispose();
            }
            base.Dispose(disposing);
        }

        #region Windows Form Designer generated code

        /// <summary>
        /// Required method for Designer support - do not modify
        /// the contents of this method with the code editor.
        /// </summary>
        private void InitializeComponent()
        {
            System.ComponentModel.ComponentResourceManager resources =
new System.ComponentModel.ComponentResourceManager(typeof(MainForm));
            this.tabControl = new System.Windows.Forms.TabControl();
            this.Scheme = new System.Windows.Forms.TabPage();
            this.pictureBox1 = new System.Windows.Forms.PictureBox();
            this.Algorithm = new System.Windows.Forms.TabPage();

```

```

        this.rtbMethod = new System.Windows.Forms.RichTextBox();
        this.Calculation = new System.Windows.Forms.TabPage();
        this.groupBox4 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
        this.rtbDebug = new System.Windows.Forms.RichTextBox();
        this.groupBox3 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
        this.FillDefaultFormulas = new
System.Windows.Forms.Button();
        this.label5 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.textBox_formulae_k = new
System.Windows.Forms.TextBox();
        this.textBox_formulae_F = new
System.Windows.Forms.TextBox();
        this.label4 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.textBox_formulae_p2 = new
System.Windows.Forms.TextBox();
        this.textBox_formulae_L = new
System.Windows.Forms.TextBox();
        this.label3 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.textBox_formulae_V = new
System.Windows.Forms.TextBox();
        this.label1 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.label2 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.groupBox2 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
        this.label10 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.ResultLabel_V = new System.Windows.Forms.Label();
        this.ResultLabel_L = new System.Windows.Forms.Label();
        this.label9 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.ResultLabel_p2 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.ResultLabel_F = new System.Windows.Forms.Label();
        this.label8 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.ResultLabel_k = new System.Windows.Forms.Label();
        this.label7 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.label6 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.groupBox1 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
        this.textBox_D1 = new System.Windows.Forms.TextBox();
        this.label_D1 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.label_n = new System.Windows.Forms.Label();
        this.textBox_n = new System.Windows.Forms.TextBox();
        this.label_K3 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.label_K2 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.label_K1 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.textBox_K3 = new System.Windows.Forms.TextBox();
        this.textBox_K2 = new System.Windows.Forms.TextBox();
        this.textBox_K1 = new System.Windows.Forms.TextBox();
        this.textBox_Lx = new System.Windows.Forms.TextBox();
        this.textBox_l = new System.Windows.Forms.TextBox();
        this.textBox_p1 = new System.Windows.Forms.TextBox();
        this.textBox_d = new System.Windows.Forms.TextBox();
        this.textBox_dd = new System.Windows.Forms.TextBox();
        this.label_Lx = new System.Windows.Forms.Label();
        this.label_l = new System.Windows.Forms.Label();
        this.label_p1 = new System.Windows.Forms.Label();

```

```

        this.label_d = new System.Windows.Forms.Label();
        this.label_dd = new System.Windows.Forms.Label();
        this.tabControl.SuspendLayout();
        this.Scheme.SuspendLayout();

        ((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox1)).BeginInit();

        this.Algorithm.SuspendLayout();
        this.Calculation.SuspendLayout();
        this.groupBox4.SuspendLayout();
        this.groupBox3.SuspendLayout();
        this.groupBox2.SuspendLayout();
        this.groupBox1.SuspendLayout();
        this.SuspendLayout();
        //
        // tabControl
        //
        this.tabControl.Controls.Add(this.Scheme);
        this.tabControl.Controls.Add(this.Algorithm);
        this.tabControl.Controls.Add(this.Calculation);
        this.tabControl.Location = new System.Drawing.Point(12,
12);

        this.tabControl.Name = "tabControl";
        this.tabControl.SelectedIndex = 0;
        this.tabControl.Size = new System.Drawing.Size(822, 521);
        this.tabControl.TabIndex = 0;
        //
        // Scheme
        //
        this.Scheme.Controls.Add(this.pictureBox1);
        this.Scheme.Location = new System.Drawing.Point(4, 22);
        this.Scheme.Name = "Scheme";
        this.Scheme.Padding = new System.Windows.Forms.Padding(3);
        this.Scheme.Size = new System.Drawing.Size(814, 495);
        this.Scheme.TabIndex = 0;
        this.Scheme.Text = "Cxema";
        this.Scheme.UseVisualStyleBackColor = true;
        //
        // pictureBox1
        //
        this.pictureBox1.InitialImage =
        ((System.Drawing.Image)(resources.GetObject("pictureBox1.InitialImage"
        )));

        this.pictureBox1.Location = new System.Drawing.Point(6,
6);

        this.pictureBox1.Name = "pictureBox1";
        this.pictureBox1.Size = new System.Drawing.Size(802, 483);
        this.pictureBox1.SizeMode =
System.Windows.Forms.PictureBoxSizeMode.Zoom;
        this.pictureBox1.TabIndex = 0;
        this.pictureBox1.TabStop = false;
        //

```



```

        // Algorithm
        //
        this.Algorithm.Controls.Add(this.rtbMethod);
        this.Algorithm.Location = new System.Drawing.Point(4, 22);
        this.Algorithm.Name = "Algorithm";
        this.Algorithm.Padding = new
System.Windows.Forms.Padding(3);
        this.Algorithm.Size = new System.Drawing.Size(814, 495);
        this.Algorithm.TabIndex = 1;
        this.Algorithm.Text = "Методика";
        this.Algorithm.UseVisualStyleBackColor = true;
        //
        // rtbMethod
        //
        this.rtbMethod.BackColor =
System.Drawing.SystemColors.Window;
        this.rtbMethod.BorderStyle =
System.Windows.Forms.BorderStyle.None;
        this.rtbMethod.Location = new System.Drawing.Point(6, 6);
        this.rtbMethod.Name = "rtbMethod";
        this.rtbMethod.ReadOnly = true;
        this.rtbMethod.Size = new System.Drawing.Size(802, 483);
        this.rtbMethod.TabIndex = 0;
        this.rtbMethod.Text = "";
        //
        // Calculation
        //
        this.Calculation.Controls.Add(this.groupBox4);
        this.Calculation.Controls.Add(this.groupBox3);
        this.Calculation.Controls.Add(this.groupBox2);
        this.Calculation.Controls.Add(this.groupBox1);
        this.Calculation.Location = new System.Drawing.Point(4,
22);
        this.Calculation.Name = "Calculation";
        this.Calculation.Size = new System.Drawing.Size(814, 495);
        this.Calculation.TabIndex = 3;
        this.Calculation.Text = "Обчислення";
        this.Calculation.UseVisualStyleBackColor = true;
        //
        // groupBox4
        //
        this.groupBox4.Controls.Add(this.rtbDebug);
        this.groupBox4.Location = new System.Drawing.Point(451,
302);
        this.groupBox4.Name = "groupBox4";
        this.groupBox4.Size = new System.Drawing.Size(360, 190);
        this.groupBox4.TabIndex = 4;
        this.groupBox4.TabStop = false;
        this.groupBox4.Text = "Довідка";
        //
        // FillDefaultFormulas
        //

```

```

        this.FillDefaultFormulas.Location = new
System.Drawing.Point(34, 156);
        this.FillDefaultFormulas.Name = "FillDefaultFormulas";
        this.FillDefaultFormulas.Size = new
System.Drawing.Size(140, 28);
        this.FillDefaultFormulas.TabIndex = 19;
        this.FillDefaultFormulas.Text = "За замовчуванням";
        this.FillDefaultFormulas.UseVisualStyleBackColor = true;
        this.FillDefaultFormulas.Click += new
System.EventHandler(this.button2_Click);
        //
        // textBox_formulae_k
        //
        this.textBox_formulae_k.Location = new
System.Drawing.Point(34, 19);
        this.textBox_formulae_k.MaxLength = 100;
        this.textBox_formulae_k.Name = "textBox_formulae_k";
        this.textBox_formulae_k.Size = new
System.Drawing.Size(401, 20);
        this.textBox_formulae_k.TabIndex = 11;
        //
        // textBox_formulae_F
        //
        this.textBox_formulae_F.Location = new
System.Drawing.Point(34, 45);
        this.textBox_formulae_F.MaxLength = 100;
        this.textBox_formulae_F.Name = "textBox_formulae_F";
        this.textBox_formulae_F.Size = new
System.Drawing.Size(401, 20);
        this.textBox_formulae_F.TabIndex = 12;
        //
        // textBox_formulae_p2
        //
        this.textBox_formulae_p2.Location = new
System.Drawing.Point(34, 71);
        this.textBox_formulae_p2.MaxLength = 100;
        this.textBox_formulae_p2.Name = "textBox_formulae_p2";
        this.textBox_formulae_p2.Size = new
System.Drawing.Size(401, 20);
        this.textBox_formulae_p2.TabIndex = 13;
        //
        // textBox_formulae_L
        //
        this.textBox_formulae_L.Location = new
System.Drawing.Point(34, 97);
        this.textBox_formulae_L.MaxLength = 100;
        this.textBox_formulae_L.Name = "textBox_formulae_L";
        this.textBox_formulae_L.Size = new
System.Drawing.Size(401, 20);
        this.textBox_formulae_L.TabIndex = 14;
        //
        // textBox_formulae_V

```

```

        //
        this.textBox_formulae_V.Location = new
System.Drawing.Point(34, 123);
        this.textBox_formulae_V.MaxLength = 100;
        this.textBox_formulae_V.Name = "textBox_formulae_V";
        this.textBox_formulae_V.Size = new
System.Drawing.Size(401, 20);
        this.textBox_formulae_V.TabIndex = 15;
        //
        // groupBox2
        //
        this.groupBox2.Controls.Add(this.label10);
        this.groupBox2.Controls.Add(this.ResultLabel_V);
        this.groupBox2.Controls.Add(this.ResultLabel_L);
        this.groupBox2.Controls.Add(this.label9);
        this.groupBox2.Controls.Add(this.ResultLabel_p2);
        this.groupBox2.Controls.Add(this.ResultLabel_F);
        this.groupBox2.Controls.Add(this.label8);
        this.groupBox2.Controls.Add(this.ResultLabel_k);
        this.groupBox2.Controls.Add(this.label7);
        this.groupBox2.Controls.Add(this.label6);
        this.groupBox2.Location = new System.Drawing.Point(451,
3);
        this.groupBox2.Name = "groupBox2";
        this.groupBox2.Size = new System.Drawing.Size(360, 292);
        this.groupBox2.TabIndex = 2;
        this.groupBox2.TabStop = false;
        this.groupBox2.Text = "Результати";
        //
        // ResultLabel_V
        //
        this.ResultLabel_V.AutoSize = true;
        this.ResultLabel_V.Font = new
System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 12F,
System.Drawing.FontStyle.Regular, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
((byte)(204)));
        this.ResultLabel_V.Location = new System.Drawing.Point(6,
239);
        this.ResultLabel_V.Name = "ResultLabel_V";
        this.ResultLabel_V.Size = new System.Drawing.Size(46, 20);
        this.ResultLabel_V.TabIndex = 4;
        this.ResultLabel_V.Text = "V = 0";
        //
        // ResultLabel_L
        //
        this.ResultLabel_L.AutoSize = true;
        this.ResultLabel_L.Font = new
System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 12F,
System.Drawing.FontStyle.Regular, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
((byte)(204)));
        this.ResultLabel_L.Location = new System.Drawing.Point(7,
189);

```

```

        this.ResultLabel_L.Name = "ResultLabel_L";
        this.ResultLabel_L.Size = new System.Drawing.Size(44, 20);
        this.ResultLabel_L.TabIndex = 3;
        this.ResultLabel_L.Text = "L = 0";
        //
        // MainForm
        //
        this.AutoScaleDimensions = new System.Drawing.SizeF(6F,
13F);
        this.AutoScaleMode =
System.Windows.Forms.AutoScaleMode.Font;
        this.ClientSize = new System.Drawing.Size(846, 545);
        this.Controls.Add(this.tabControl);
        this.FormBorderStyle =
System.Windows.Forms.FormBorderStyle.FixedSingle;
        this.Icon =
((System.Drawing.Icon)(resources.GetObject("$this.Icon")));
        this.KeyPreview = true;
        this.MaximizeBox = false;
        this.Name = "MainForm";
        this.StartPosition =
System.Windows.Forms.FormStartPosition.CenterScreen;
        this.Text = "САПР - Мультиплікатор ПР";
        this.KeyDown += new
System.Windows.Forms.KeyEventHandler(this.MainForm_KeyDown);
        this.tabControl.ResumeLayout(false);
        this.Scheme.ResumeLayout(false);

        ((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox1)).EndInit
        ();

        this.Algorithm.ResumeLayout(false);
        this.Calculation.ResumeLayout(false);
        this.groupBox4.ResumeLayout(false);
        this.groupBox3.ResumeLayout(false);
        this.groupBox3.PerformLayout();
        this.groupBox2.ResumeLayout(false);
        this.groupBox2.PerformLayout();
        this.groupBox1.ResumeLayout(false);
        this.groupBox1.PerformLayout();
        this.ResumeLayout(false);

    }

    #endregion

}
}

```

ДОДАТОК Б

Результати перевірки на унікальність